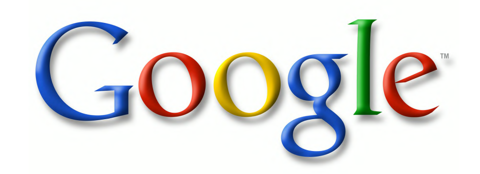
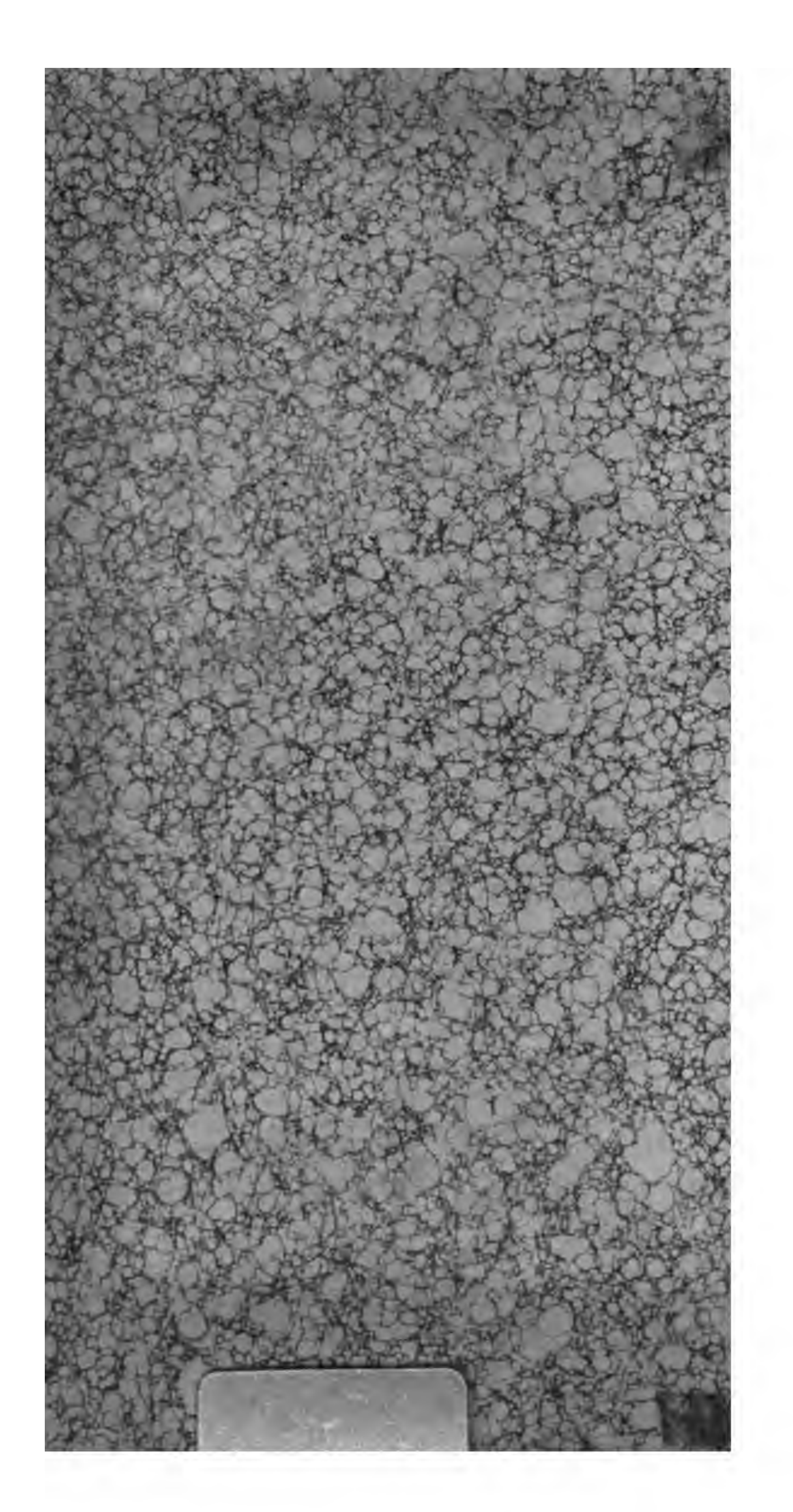
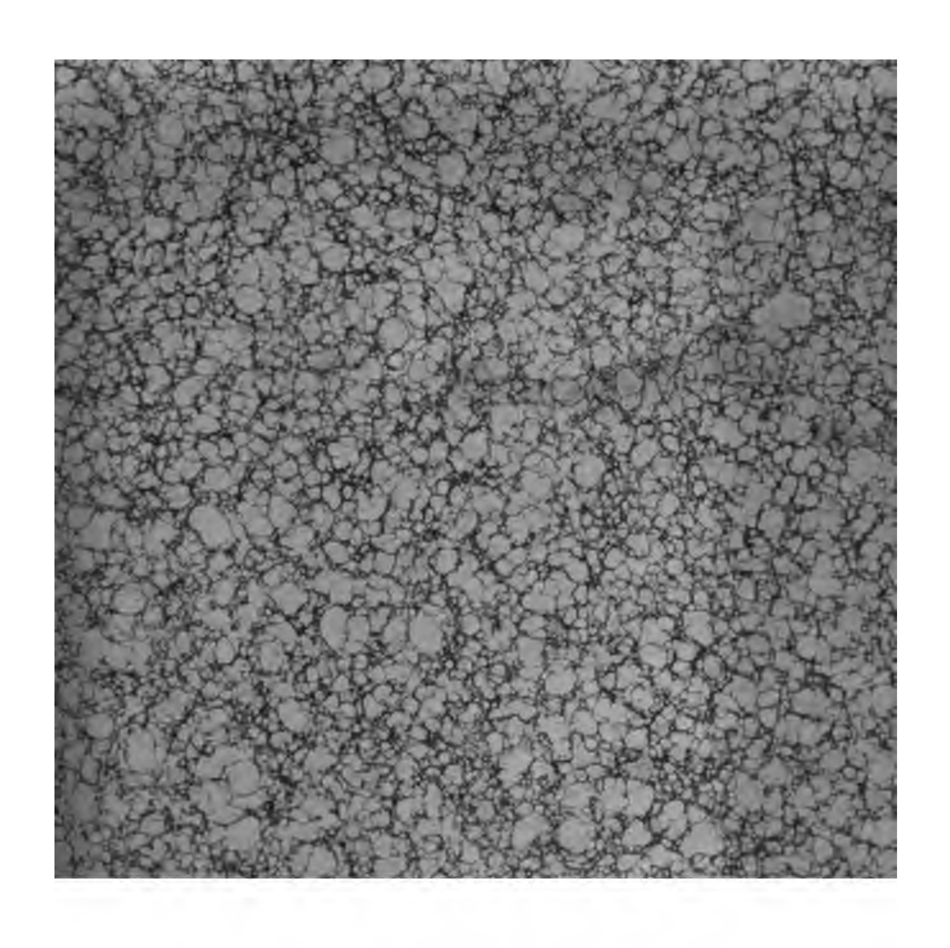

Google


UNIVERSITÉ
DE
FRANCE.
LYCÉE IMPÉRIAL
DE
BONAPARTE





LETTRES

DE L. EULER

A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE

TOME II

Paris. — Typographie de FIRMIN DIDOT frères, rue Jacob, 56.

LETTRES

DE L. EULER

A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE

SUR DIVERS SUJETS

DE PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE

PRÉCÉDÉES

DE L'ÉLOGE D'EULER PAR CONDORCET

ET ANNOTÉES

PAR M. A. A. COURNOT

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES ÉTUDES

TOME SECOND

PARIS

CHEZ L. HACHETTE

LIBRAIRE DE L'UNIVERSITÉ ROYALE DE FRANCE

RUE PIERRE-SARRAZIN, N° 12

1842

LETTRES D'EULER

A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE,

SUR DIVERS SUJETS

DE PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

SUITE DE LA DEUXIÈME PARTIE.

LETTRE XLVII.

(31 mars 1761.)

Sur le véritable fondement de toutes nos connaissances. Sur les trois sources des vérités, et sur les trois classes de nos connaissances qui en naissent.

MADAME,

Ayant pris la liberté de proposer à V. A. mes pensées sur l'article le plus important de nos connaissances, j'espère qu'elles seront suffisantes pour dissiper tous les doutes dont bien des gens se tourmentent, étant peu instruits sur la vraie notion de notre liberté.

Maintenant j'aurai l'honneur d'entretenir V. A. sur le véritable fondement de toutes nos connais-

sances, par lesquelles nous sommes convaincus de la certitude et de la vérité de tout ce que nous connaissons. Il s'en faut beaucoup que nous soyons assurés de la vérité de tous nos sentiments, et il n'arrive que trop souvent qu'on se laisse éblouir par quelques apparences souvent fort légères, et qu'on reconnaisse aussi bien des faussetés. L'un et l'autre est un vice également dangereux; et un homme raisonnable doit faire tous les efforts possibles pour se garantir de l'erreur, quoiqu'on ne soit pas toujours assez heureux pour y réussir.

Tout revient ici à la solidité des preuves par lesquelles nous nous persuadons de la vérité de quelque chose que ce soit; et il est absolument nécessaire qu'on soit en état de juger de la solidité de ces preuves, si elles sont suffisantes pour nous convaincre ou non. Pour cet effet, je remarque d'abord que toutes les vérités qui sont à la portée de notre connaissance se rapportent à trois classes, essentiellement distinguées.

La première classe renferme les vérités des sens; la seconde, les vérités de l'entendement; et la troisième, les vérités de la foi. Chacune de ces classes demande des preuves particulières pour nous prouver les vérités qui y appartiennent, et c'est de ces trois classes que toutes nos connaissances tirent leur origine.

Les preuves de la première classe se réduisent à nos sens; quand je puis dire :

> Cette chose est vraie, puisque je l'ai vue, ou que j'en suis convaincu par mes sens.

C'est ainsi que je connais que l'aimant attire le fer, puisque je le vois, et que l'expérience me le prouve indubitablement. Telles vérités sont nommées *sensuelles*, et fondées sur nos sens ou sur l'expérience.

Les preuves de la seconde classe sont renfermées dans le raisonnement; quand je puis dire :

> Cette chose est vraie, puisque je la puis démontrer par un raisonnement juste, ou par des syllogismes légitimes;

et c'est principalement à cette classe qu'est attachée la logique, qui nous donne des règles pour raisonner juste. C'est ainsi que nous connaissons que les trois angles d'un triangle rectiligne font ensemble autant que deux angles droits. Dans ce cas je ne dis pas que je le voie, ou que mes sens m'en convainquent; mais c'est le raisonnement qui m'en assure la vérité. De telles vérités sont nommées *intellectuelles;* et c'est ici qu'il faut ranger toutes les vérités de la géométrie et des autres sciences, en tant qu'on est en état de les prouver par des démonstrations. V. A. comprend aisément que ces vérités sont tout à fait différentes de celles de la première classe, où l'on n'allègue d'autres preuves que les sens, ou l'expérience, qui nous assure que la chose est ainsi, quoique nous n'en connaissions pas la cause. Dans l'exemple de l'aimant, nous ne savons pas comment l'attraction du fer est un effet nécessaire de la nature tant de l'aimant que du fer; mais nous ne sommes pas moins convain-

cus de la vérité du fait. Les vérités de la première classe sont aussi bien vérités que celles de la seconde, quoique les preuves que nous en avons soient entièrement différentes.

Je passe à la troisième classe des vérités, qui sont celles de la foi, et que nous croyons, parce que des personnages dignes de foi nous les rapportent ; ou bien quand nous pouvons dire :

> Cette chose est vraie, puisqu'une ou plusieurs personnes dignes de foi nous l'ont assurée.

Cette classe renferme donc toutes les vérités *historiques*. V. A. croit sans doute qu'il y a eu autrefois un roi de Macédoine, nommé *Alexandre le Grand*, qui s'est rendu maître du royaume de Perse, quoiqu'elle ne l'ait point vu, et qu'elle ne puisse pas démontrer géométriquement qu'un tel homme ait existé sur la terre. Nous le croyons sur le rapport des auteurs qui ont écrit son histoire, et nous ne doutons pas de leur fidélité. Mais ne serait-il pas possible que tous ces auteurs eussent fait un complot de nous tromper? Nous avons raison de mépriser cette objection, et nous sommes aussi bien convaincus de la vérité de ces faits, au moins d'une grande partie, que nous le sommes des vérités de la première et de la seconde classe.

Les preuves de ces trois classes de vérités sont bien différentes ; mais si elles sont bonnes chacune dans son espèce, elles doivent nous convaincre également. V. A. ne doutera pas que les Russes et les Autrichiens n'aient été à Berlin, quoiqu'elle ne

les ait pas vus : c'est donc auprès de V. A. une vérité de la troisième classe, puisqu'elle le croit sur le rapport d'autrui ; mais pour moi c'était une vérité de la première classe, puisque je les ai vus, que je leur ai parlé, et que bien d'autres s'en sont aperçus encore par d'autres sens. Malgré cela, V. A. en est aussi bien persuadée que nous autres.

LETTRE XLVIII.

(4 avril 1761.)

Sur le même sujet, et en particulier sur les égarements dans la connaissance de la vérité.

Les trois classes de vérités que je viens d'établir sont autant de sources de toutes nos connaissances, et elles sont aussi les seules : tout ce que nous savons, nous le savons ou par notre propre expérience, ou par le raisonnement, ou par le rapport des autres.

Il est difficile de dire laquelle de ces trois sources contribue le plus à augmenter nos connaissances. Pour Adam et Ève, il semble qu'ils n'ont puisé que dans les deux premières; cependant Dieu leur a révélé quantité de choses dont la connaissance doit être rapportée à la troisième source, puisque ni leur propre expérience, ni leur raisonnement, ne les y ont pas conduits. Ensuite le diable s'est aussi mêlé de leur inspirer de nouvelles idées, et Adam s'est fié sur les rapports qu'Ève lui fit.

Mais sans m'arrêter à des temps si reculés, nous sommes suffisamment convaincus que, si nous ne voulions rien croire de tout ce que d'autres nous disent, ou que nous lisons dans leurs écrits, nous nous trouverions dans un fort triste état. Cependant il s'en faut beaucoup que nous devions croire tout ce qu'on nous dit, ou tout ce que nous lisons. Partout il faut user du discernement, non-seulement à l'égard de la troisième source, mais aussi à l'égard des deux autres.

Nous sommes si sujets à nous laisser éblouir par les sens, et à nous tromper dans les raisonnements, que les mêmes sources que le Créateur nous a ouvertes pour nous conduire à la vérité nous précipitent très-souvent dans l'erreur. Ce n'est donc pas un reproche qu'on ait raison de faire plutôt à la troisième source qu'aux deux autres. Partout il faut que nous soyons également sur nos gardes; et on trouve autant d'exemples que les hommes se sont égarés en puisant dans la première et la seconde source, que dans la troisième. Il en est de même de la certitude des connaissances que ces trois sources nous fournissent; et on ne saurait dire que les vérités de l'une soient plus fondées que celles d'une autre. Chaque source est soumise à des égarements qui pourraient nous séduire; mais il y a aussi des précautions, qui, étant bien observées, nous fournissent à peu près le même degré de conviction. Je ne sais si V. A. est plus convaincue de la vérité que deux triangles qui ont la même base et la même hauteur sont égaux

entre eux, que de celle-ci, que les Russes ont été à Berlin, quoique la première soit fondée sur le plus juste raisonnement, et que l'autre n'ait d'autres fondements que la fidélité de nos rapports.

Donc, pour les vérités de chacune de ces trois classes, il faut se contenter des preuves qui conviennent à la nature de chacune; et il serait ridicule de vouloir exiger une démonstration géométrique des vérités d'expérience ou historiques. C'est ordinairement le défaut des esprits forts et de ceux qui abusent de leur pénétration dans les vérités intellectuelles, quand ils prétendent des démonstrations géométriques pour prouver toutes les vérités de la religion, qui appartiennent en grande partie à la troisième classe.

Il y a aussi des gens qui ne veulent rien croire ni admettre que ce qu'ils voient de leurs yeux et qu'ils touchent de leurs mains; tout ce qu'on leur prouve par les raisonnements les plus solides leur demeure toujours suspect, à moins qu'on ne le leur mette devant les yeux. On remarque ordinairement ce défaut dans les chimistes, les anatomistes et les physiciens, qui ne s'occupent qu'à faire des expériences. Tout ce que les uns ne sauraient fondre dans leurs creusets, ou les autres disséquer avec leurs scalpels, ne fait aucune impression sur leur esprit. On a beau leur parler des qualités et de la nature de l'âme, ils ne conviennent de rien, à moins qu'il ne frappe leur sens.

C'est ainsi que le genre d'étude auquel chacun s'applique a une influence si forte dans sa manière

de penser, que l'*expérimenteur* ne veut que des expériences, et le raisonneur que des raisonnements : ce qui forme cependant des preuves tout à fait différentes, les unes attachées à la première classe, et les autres à la seconde, qu'on doit toujours soigneusement distinguer, selon la nature des objets de notre connaissance.

Mais serait-il bien possible qu'il y eût des gens qui, uniquement occupés des connaissances de la troisième source, ne demandent que des preuves appartenant à cette classe? En effet, j'en ai connu qui, entièrement enfoncés dans l'étude de l'antiquité et de l'histoire, n'admettaient rien qu'on ne leur prouvât par l'histoire, ou l'autorité de quelque auteur ancien. Ils tombent bien d'accord sur la vérité des propositions d'Euclide, mais cela uniquement sur l'autorité de cet auteur, sans faire la moindre attention aux démonstrations qu'il en donne : ils s'imaginent même que le contraire de ces propositions pourrait aussi bien être vrai, pourvu que les anciens géomètres se fussent avisés de le soutenir.

Voilà un triple égarement qui arrête bien des gens dans la connaissance de la vérité, mais qu'on rencontre plutôt parmi les savants que parmi ceux qui commencent à s'appliquer aux sciences. Il faut être indifférent pour les trois espèces de preuves que chaque classe exige : et, pourvu qu'elles soient suffisantes, on est obligé de les reconnaître.

Je l'ai vu ou senti, est la preuve de la première classe; *je puis le démontrer*, est la preuve de la seconde classe, de laquelle on dit aussi *qu'on sait les*

choses; enfin, *je le tiens par le témoignage de personnes dignes de foi*, ou *je le crois par des raisons solides*, c'est la preuve de la troisième classe.

LETTRE XLIX.

(7 avril 1761.)

Sur la première classe de nos connaissances, et en particulier sur la conviction qu'il existe réellement hors de nous des choses qui répondent aux idées que les sens représentent. Objections des pyrrhoniens contre cette conviction, et réponse à cette objection.

On compte dans la première classe de nos connaissances celles que nous acquérons immédiatement par le moyen de nos sens : or, j'ai déjà remarqué que nos sens fournissent non-seulement à notre âme certaines représentations relatives aux changements opérés dans une partie de notre cerveau, mais qu'ils excitent aussi dans notre âme une conviction qu'il y a actuellement hors de nous des choses réelles qui répondent aux idées que les sens nous présentent.

On compare communément notre âme à un homme renfermé dans une chambre obscure, où les images des objets de dehors sont représentées sur la muraille par le moyen d'un verre propre à cet effet. Cette comparaison est assez juste, en tant que cet homme contemple les images sur la muraille; et cet acte est assez semblable à celui de notre âme, quand

elle contemple les impressions faites dans le cerveau : mais cette même comparaison me paraît très-défectueuse pour ce qui regarde la conviction, qu'il existe réellement de tels objets qui occasionnent ces images.

L'homme renfermé soupçonnera bien l'existence de ces objets; et s'il n'en doute point, c'est qu'il a été dehors, et qu'il a vu ces objets; outre que, connaissant la nature de son verre, il sait que rien ne saurait être représenté sur la muraille, que les images des objets qui se trouvent effectivement hors de la chambre devant le verre. Mais l'âme n'est pas dans ce cas, elle n'a jamais été hors de son siége pour envisager les objets mêmes; et encore moins connaît-elle la construction des organes sensitifs, et les nerfs qui aboutissent dans le cerveau. Cependant elle est beaucoup plus fortement convaincue de l'existence réelle des objets, que notre homme renfermé ne saurait jamais l'être. Je ne redoute là-dessus aucune objection; la chose étant trop claire d'elle-même, quoique nous n'en connaissions point le véritable fondement. Personne n'en a jamais douté, excepté quelques visionnaires qui se sont égarés dans leurs rêveries. Quoiqu'ils aient dit qu'ils doutaient des choses hors d'eux, ils n'en ont pas douté en effet; car pourquoi l'auraient-ils dit, s'ils n'avaient pas cru l'existence d'autres hommes, auxquels ils voudraient communiquer leur sentiment bizarre?

Cette conviction sur l'existence des choses dont les sens nous représentent les images se trouve non-seulement dans tous les hommes de tout âge et de

toute condition, mais aussi dans toutes les bêtes. Le chien qui aboie contre moi ne doute pas de mon existence, quoique son âme n'aperçoive qu'une légère image de mon corps. De là je conclus que cette conviction est essentiellement liée avec nos sensations, et que les vérités que nos sens nous découvrent sont aussi bien fondées que les vérités de la géométrie les plus certaines.

Sans cette conviction, aucune société d'hommes ne saurait subsister; et tous tant que nous sommes, nous nous précipiterions dans les plus grandes absurdités et dans les plus grandes contradictions.

Si les paysans s'avisaient de douter de l'existence de leur bailli, ou les soldats de l'existence de leurs officiers, dans quelle confusion serions-nous plongés! De telles absurdités n'ont lieu que parmi les philosophes; tout autre qui s'y livre doit avoir perdu le bon sens. Reconnaissons donc que cette conviction est une des principales lois de la nature, et que nous en sommes intimement convaincus, quoique nous en ignorions absolument les véritables raisons, et que nous soyons très-éloignés de les pouvoir expliquer d'une manière intelligible.

Quelque importante que soit cette réflexion, elle n'est cependant pas exempte de toute difficulté; mais quelque grandes aussi que soient ces difficultés, et quand même nous ne les saurions résoudre, elles n'apportent pas la moindre atteinte à la vérité que je viens d'établir, et que nous devons regarder comme le plus solide fondement de nos connaissances.

Il faut convenir que nos sens se trompent quel-

quefois : et de là, ces subtils philosophes qui se vantent de douter de tout tirent cette conséquence : que nous ne saurions nous fier sur nos sens. Il m'est arrivé plus d'une fois que, rencontrant dans la rue un homme inconnu, je l'ai pris pour quelqu'un que je connaissais : donc, puisque je me suis trompé, rien n'empêche que je ne me trompe toujours ; et par conséquent je ne suis jamais assuré que la personne à qui je parle est effectivement celle que je m'imagine.

Si je venais à Magdebourg, et que j'eusse l'honneur d'être mis aux pieds de V. A., je devrais toujours craindre de me tromper très-grossièrement : peut-être même ne serais-je pas à Magdebourg, car on a des exemples qu'on a pris quelquefois une ville pour une autre. Peut-être même que je n'ai jamais eu le bonheur de voir V. A., et que je me suis toujours trompé quand j'ai cru être aussi heureux.

Ce sont les conséquences naturelles qui découlent du sentiment de ces philosophes ; et V. A. comprend aisément qu'elles mènent non-seulement aux plus grandes absurdités, mais qu'elles renverseraient aussi tous les liens de la société. C'est pourtant de cette source que les esprits forts puisent leurs objections contre la religion, dont la plupart reviennent à ce beau raisonnement : On a des exemples que quelqu'un s'est trompé en prenant un homme pour un autre ; donc, les apôtres se sont aussi trompés quand ils disent avoir vu Jésus-Christ après sa résurrection. En toute autre occasion on se moquerait de leur faux

esprit ; mais quand il s'agit de la religion, ils ne trouvent que trop d'admirateurs.

LETTRE L.

(11 avril 1761.)

Autre objection des pyrrhoniens contre la certitude des vérités aperçues par les sens. Réponse à cette objection, et sur les précautions qu'on doit observer pour être assuré des vérités des sens.

Quoique l'objection qu'on fait contre la certitude des vérités aperçues par les sens, et dont je viens de parler, paraisse assez forte, on tâche néanmoins de l'appuyer encore sur la maxime commune, qu'il ne faut pas se fier à celui qui nous a trompés une fois. Donc, un seul exemple que les sens ont trompé suffit pour leur refuser toute croyance. Cependant si cette objection était solide, V. A. ne saurait disconvenir que toute la société des hommes en serait renversée de fond en comble.

Pour y répondre, je remarque que les deux autres sources de nos connaissances sont assujetties à des difficultés, ou semblables, ou plus fortes encore. Combien de fois ne se trompe-t-on pas dans les raisonnements ? J'ose bien assurer qu'il arrive beaucoup plus souvent d'être trompé dans les raisonnements que par les sens ; mais s'ensuit-il de là que le raisonnement nous trompe toujours, et que nous ne sau-

rions être assurés d'aucune vérité que l'entendement nous découvre? Il doit donc être douteux si deux fois deux font quatre, ou que les trois angles d'un triangle sont égaux à deux droits; il serait même ridicule de vouloir faire passer cela pour une vérité. Ainsi, quoique souvent les hommes aient mal raisonné, cela n'empêche pas qu'il n'y ait quantité de vérités intellectuelles dont nous sommes parfaitement convaincus.

Il en est de même de la troisième source de nos connaissances, qui est sans doute la plus sujette à l'erreur. Combien de fois n'avons-nous pas été trompés par un faux bruit, ou par un faux rapport qu'on nous a fait d'un événement? et qui voudrait bien croire tout ce que les gazetiers ou les historiens ont écrit? Cependant, qui voudrait soutenir que tout ce que d'autres nous disent ou racontent est faux, tomberait sans doute dans de plus grandes absurdités que celui qui croirait tout. Ainsi, malgré tous les faux rapports ou les faux témoignages, nous sommes pourtant assurés de la vérité de quantité de faits que nous ne connaissons que par le rapport d'autrui.

Il y a certains caractères par lesquels nous sommes en état de reconnaître la vérité, et chacune de nos trois sources a des caractères qui lui sont particuliers. Quand la vue m'a trompé, lorsque j'ai pris un homme pour un autre, j'ai bientôt reconnu mon erreur; d'où il est clair qu'il y a effectivement des moyens propres à prévenir l'erreur. Car s'il n'y en avait point, il serait impossible de s'apercevoir jamais qu'on se soit trompé. Donc, ceux mêmes qui soutien-

nent que nous nous trompons tant de fois sont obligés d'accorder qu'il est impossible de s'apercevoir que nous nous sommes trompés, ou ils doivent avouer qu'ils se trompent eux-mêmes en nous reprochant nos égarements.

Il est remarquable que la vérité est si bien établie, que la plus grande démangeaison de douter de tout doit y revenir malgré elle. Donc, comme la logique prescrit les règles des raisonnements justes qui nous mettent à l'abri de l'erreur à l'égard des vérités intellectuelles, il y a aussi des règles également certaines, tant pour la première source, de nos sens, que pour la troisième, de la foi.

Les règles de la première source nous sont si naturelles, que tous les hommes, sans en excepter même les plus stupides, les entendent et les pratiquent mieux que les plus savants ne sauraient en donner seulement une description. Quoiqu'il soit aisé d'éblouir quelquefois un paysan, néanmoins, quand la grêle détruit ses champs, ou que la foudre tombe dans ses granges, le plus habile philosophe ne lui persuadera jamais que ce n'est qu'une illusion; et tout homme de bon sens doit avouer que le paysan a raison, et qu'il n'est pas toujours la dupe de la tromperie de ses sens. Le philosophe pourra peut-être le confondre au point que le paysan ne sera plus en état de lui répondre; mais au fond il se moquera de tous ses raisonnements. L'argument que les sens nous trompent quelquefois, ne fera qu'une très-faible impression sur son esprit; et quand on lui dira, avec la plus grande éloquence, que tout ce que les sens

nous représentent n'est pas plus réel que ce que nous rêvons dans le sommeil, tout cela fera rire le paysan.

Mais si lè paysan à son tour voulait être philosophe, et soutenir que le bailli n'était qu'un fantôme, et que ceux-là étaient des fous qui le regardaient comme quelque chose de réel et lui obéissaient, on détruirait bientôt cette sublime philosophie, et le chef de la secte ne sentirait que trop la force des preuves que le bailli lui donnerait de la réalité de son existence.

De là V. A. sera bien convaincue que, par rapport aux sens, il y a certains caractères qui ne nous laissent pas le moindre doute sur la réalité et la vérité de ce que nous connaissons par les sens; et ces mêmes caractères sont si bien connus et imprimés dans nos âmes, qu'on ne se trompe jamais, lorsqu'on prend les précautions nécessaires. Or, il est très-difficile de faire un dénombrement exact de tous ces caractères, et d'en expliquer la nature. On dit ordinairement que les organes *sensatoires* doivent se trouver dans un bon état naturel; l'air ne doit pas être obscurci par un brouillard; enfin, qu'il faut apporter un degré suffisant d'attention, et qu'il faut tâcher surtout d'examiner le même objet par deux ou plusieurs de nos sens à la fois. Mais je crois que chacun suit actuellement des règles plus solides que celles qu'on lui pourrait donner.

LETTRE LI.

(14 avril 1761.)

Sur la certitude démonstrative, physique; en particulier sur la certitude morale.

Il y a donc trois sources d'où nous tirons toutes les connaissances que nous devons regarder comme également certaines, pourvu qu'on prenne les précautions nécessaires qui nous garantissent de l'erreur. De là résultent trois espèces de certitudes.

Celle de la première source est appelée la *certitude physique*. Quand je suis convaincu de la vérité d'une chose parce que je l'ai vue moi-même, j'en ai une certitude physique; et quand on m'en demande la raison, je réponds que mes propres sens m'en assurent, et que j'en suis ou que j'en ai été témoin moi-même. C'est ainsi que je sais que les Autrichiens ont été à Berlin, et que plusieurs d'eux y ont commis quantité de désordres; je sais aussi que le feu détruit toutes les matières combustibles, car je l'ai vu moi-même, et j'en ai une certitude physique.

La certitude des connaissances que nous acquérons par le raisonnement est nommée *certitude logique* ou *démonstrative*, parce que nous sommes convaincus de sa vérité par une démonstration. Les vérités de la géométrie peuvent ici servir d'exemples, et c'est une certitude logique qui nous en assure.

Enfin, la certitude que nous avons de la vérité c
choses que nous ne savons que par le rapport c
autres, est nommée *certitude morale*, parce qu'e
est fondée sur la *foi* que méritent ceux qui les :
content : c'est ainsi que V. A. n'a qu'une certitu
morale de ce que les Russes ont été à Berlin ; et il
est de même de tous les faits que l'histoire nous a
prend. Nous savons, d'une certitude morale, qu'i
a eu autrefois à Rome un Jules César, un August
un Néron, etc.; et les témoignages sont si authen
ques, que nous en sommes aussi bien convainc
que des vérités que nos propres sens ou notre raisc
nement nous font connaître.

Cependant on ne doit pas confondre ces trois
pèces de certitudes, la physique, la logique et
morale, dont chacune est d'une nature tout à f
différente. Je me propose d'entretenir V. A. sur ch
cune de ces trois espèces de certitudes séparémen
et je commencerai par m'étendre plus au long sur
certitude morale, qui est la troisième.

Il faut bien remarquer que cette troisième sour
se partage en deux branches, selon que d'autr
nous racontent simplement ce qu'ils ont vu eu
mêmes ou éprouvé eux-mêmes par leurs sens, c
qu'ils nous font part de leurs réflexions ou de leu
raisonnements. On pourrait encore ajouter une tro
sième branche, quand les autres nous rapportent
qu'ils ont appris encore d'autres.

Quant à cette dernière branche, on reconnaît g
néralement qu'elle est très-sujette à l'erreur, et qu'u
témoin ne doit être cru que sur ce qu'il a vu c

éprouvé lui-même. Ainsi, dans les tribunaux de justice, quand on examine les témoins, on distingue très-soigneusement dans leurs déclarations ce qu'ils ont vu ou éprouvé eux-mêmes, d'avec ce qu'ils y ajoutent ordinairement de leurs réflexions ou raisonnements. On ne se tient qu'à ce qu'ils ont vu ou éprouvé eux-mêmes, et on rejette absolument leurs propres réflexions ou les conséquences qu'ils en tirent, quelque fondées qu'elles puissent être d'ailleurs. On observe la même maxime à l'égard des historiens, et l'on veut qu'ils ne nous annoncent que ce dont ils ont été témoins eux-mêmes; et on ne se soucie guère des réflexions qu'ils y ajoutent, quoiqu'elles soient un grand ornement dans une histoire. C'est ainsi qu'on se fie plutôt sur la vérité de ce que d'autres ont éprouvé par leurs propres sens, que de ce qu'ils ont découvert par leurs méditations. Chacun veut être le maître de son jugement; et à moins qu'il ne reconnaisse lui-même le fondement et la démonstration, il n'est pas persuadé.

Euclide aurait eu beau nous annoncer les plus belles vérités de la géométrie, nous ne les croirions jamais sur sa parole; nous voulons en approfondir les démonstrations nous-mêmes. Si je disais à V. A. que j'ai vu telle ou telle chose, en supposant mon rapport fidèle, elle ne ferait aucune difficulté d'y ajouter foi; je serais même fâché si elle voulait me soupçonner de fausseté. Mais quand j'ai eu l'honneur de dire à V. A. que dans un triangle rectangle les carrés décrits sur les deux petits côtés étaient égaux au carré du grand côté, je ne voulais pas absolu-

ment qu'elle me crût sur ma parole, quoique j'e fusse convaincu autant qu'il est possible qu'on le soi et que j'eusse pu alléguer l'autorité des plus grand esprits, qui tous en ont été également convaincus. J prétendais même qu'elle se méfiât de mon assertion et qu'elle refusât d'y ajouter foi, jusqu'à ce qu'ell eût compris elle-même la solidité des raisonnement sur lesquels la démonstration est fondée.

Cependant il ne s'ensuit pas que la certitude phy sique, ou celle que nos sens nous fournissent, soi plus grande que la certitude logique fondée sur l raisonnement; mais dès qu'une vérité de cette espèc se présente, il est bon que l'esprit s'y occupe et ap profondisse la démonstration. C'est le meilleu moyen de cultiver et de porter les sciences au plu haut degré de perfection.

Les vérités des sens et de l'histoire multiplien bien nos connaissances; mais les facultés de l'espri ne sont mises en action que par la réflexion et l raisonnement.

On ne s'arrête jamais à ce que les sens ou les rap ports des autres nous annoncent; on y mêle toujour ses propres réflexions; on y supplée insensiblemen en y ajoutant des causes et des motifs, et en tiran des conséquences; et c'est pourquoi dans les tribu naux de justice il est extrêmement difficile de tirer de témoignages purs et nets, qui ne contiennent que c que les témoins ont vu ou senti actuellement, puis qu'ils y mêlent toujours leurs propres réflexions san qu'ils s'en aperçoivent eux-mêmes.

LETTRE LII.

(18 avril 1761.)

Remarques sur ce que les sens contribuent à augmenter nos connaissances, et sur les précautions qu'on doit observer pour être assuré des vérités historiques.

Les connaissances que nos sens nous fournissent sont sans doute les premières que nous acquérons, et c'est sur cela que notre âme fonde ensuite les pensées et les réflexions qui lui découvrent quantité d'autres vérités intellectuelles. Pour mieux comprendre comment les sens contribuent à augmenter nos connaissances, je remarque d'abord que les sens n'agissent que sur des choses individuelles qui existent actuellement sous des circonstances déterminées, ou limitées de tous côtés.

Concevons un homme subitement mis dans ce monde, qui n'ait encore aucune expérience; qu'on lui donne une pierre dans la main, qu'il ouvre ensuite la main, et qu'il voie tomber la pierre par terre. C'est une expérience limitée de tous côtés, qui ne lui apprend rien, sinon que cette pierre étant dans la main gauche, par exemple, et lâchée, tombe en bas; il ne sait absolument pas si le même effet arriverait lorsqu'il prendrait une autre pierre, ou bien la même avec la main droite. Aussi est-il encore incertain si cette même pierre, sous les mêmes circonstances, tomberait encore une fois, ou bien si elle se-

rait tombée quand il l'aurait prise une heure auparavant. Au moins cette seule expérience ne lui donne aucun éclaircissement là-dessus.

Ce même homme prend ensuite une autre pierre, et il voit qu'elle tombe aussi en la lâchant tant de la main gauche que de la main droite; il fait le même essai avec une troisième et une quatrième, et il observe toujours le même effet. De là il conclut que toutes les pierres ont cette propriété, qu'étant lâchées, ou manquant de soutien, elles tombent en bas.

Voilà une connaissance que notre homme tire de l'expérience qu'il a faite. Il s'en faut beaucoup qu'il ait essayé toutes les pierres; et quand même il l'aurait fait, quelle certitude a-t-il que la même chose arriverait en tout temps? Il n'en sait rien que pour les moments où il a fait chaque expérience; et qui lui assure que le même effet réussirait aussi à d'autres hommes ? Ne pourrait-il pas penser que cette qualité de faire tomber les pierres serait attachée uniquement à ses mains? On pourrait encore former mille autres doutes là-dessus.

Moi, par exemple, je n'ai jamais éprouvé les pierres dont l'église cathédrale de Magdebourg est construite, et cependant je ne doute pas qu'elles ne soient toutes pesantes sans exception, et que chacune tomberait dès qu'elle serait détachée. Je m'imagine même que l'expérience m'a fourni cette connaissance, quoique je n'en aie jamais fait aucune sur lesdites pierres.

Cet exemple suffit pour faire voir à V. A. com-

ment les expériences, quoiqu'elles ne roulent que sur des objets individuels, ont conduit les hommes à des connaissances très-universelles; mais il faut convenir que l'entendement et les autres facultés de l'âme s'y mêlent d'une manière qu'il est très-difficile de bien développer : et si l'on voulait être trop scrupuleux sur toutes les circonstances, on n'avancerait rien dans toutes nos connaissances, et l'on serait arrêté à chaque pas.

A cet égard, il faut avouer que le commun peuple a beaucoup plus de bon sens que ces philosophes scrupuleux qui s'obstinent à douter de tout. Cependant il faut aussi bien prendre garde de ne pas tomber dans une autre extrémité, et de négliger les précautions nécessaires.

Toutes les trois sources d'où nous tirons nos connaissances exigent chacune certaines précautions qu'on doit bien observer pour être assuré de la vérité; mais dans chacune on peut pousser la chose trop loin, et il faut toujours tenir un certain milieu.

La troisième source ne prouve cela que trop ouvertement. Ce serait sans doute la plus grande folie de croire tout ce que les autres nous racontent; mais, d'un autre côté, une trop grande méfiance ne serait pas moins blâmable. Qui veut douter de tout, ne manquera jamais de prétexte : quand un homme dit ou écrit qu'il a vu telle ou telle action, d'abord on peut dire que cela n'est pas vrai, et que cet homme se plaît à nous surprendre. Ensuite, quand sa fidélité ne serait assujettie à aucun doute, on pourrait dire qu'il n'a pas bien vu, qu'il a été ébloui;

et on trouvera toujours des exemples où quelqu'un s'est trompé, et faussement imaginé qu'il voyait quelque chose. Les règles qu'on prescrit à cet égard perdent tout leur poids quand on a affaire à un chicaneur.

Ordinairement, pour qu'on puisse être assuré de la vérité d'une relation ou d'une histoire, on exige que l'auteur ait été lui-même témoin, et qu'il n'ait aucun intérêt à raconter la chose autrement qu'elle ne s'est passée. Ensuite, si deux ou plusieurs rapportent la même chose et avec les mêmes circonstances, c'est toujours un grand argument pour la vérité. Quelquefois pourtant une trop grande harmonie jusqu'aux moindres minuties devient suspecte : car deux personnes qui regardent le même événement, le regardent de différents points de vue ; et l'une remarquera toujours quelques petites circonstances qui auront échappé à l'attention de l'autre. Donc, une petite différence qui se trouve en deux relations du même événement, en prouve plutôt la vérité qu'elle ne l'affaiblit.

Mais il est toujours extrêmement difficile de raisonner sur les premiers principes de nos connaissances, et de vouloir expliquer le mécanisme et les ressorts que notre âme met en usage. Il serait bien beau si l'on pouvait y réussir, et cela nous éclaircirait sur quantité d'articles importants qui regardent la nature de notre âme et ses opérations ; mais il semble que nous sommes plutôt destinés à nous servir de nos facultés que d'en approfondir tous les ressorts.

LETTRE LIII.

(21 avril 1761.)

Sur la question, Si l'essence des corps nous est connue ou non.

Après tant de réflexions sur la nature et les facultés de notre âme, V. A. sera peut-être bien aise de retourner à la considération des corps, dont j'ai déjà eu l'honneur de lui exposer les principales propriétés.

J'ai remarqué que la nature des corps renferme nécessairement trois choses, l'*étendue*, l'*impénétrabilité* et l'*inertie;* de sorte qu'un être où ces trois choses ne se trouveraient pas à la fois ne saurait être admis dans la classe des corps; et réciproquement, dès que ces trois qualités sont réunies dans un être, personne ne doutera de le reconnaître pour un corps.

C'est donc dans ces trois choses qu'on a raison de constituer l'essence d'un corps, quoiqu'il y ait bien des philosophes qui prétendent que l'essence des corps nous soit tout à fait inconnue. Ce n'est pas seulement le sentiment des sceptiques et pyrrhoniens, qui doutent de tout; mais il y a aussi d'autres sectes qui soutiennent que l'essence de toutes les choses nous est absolument inconnue; et, en effet, à certains égards ils n'ont pas tort. Il n'est que trop vrai à l'égard de tous les êtres individuels qui existent actuellement.

V. A. reconnaîtra aisément que ce serait la plus grande absurdité, si je voulais prétendre de connaître seulement l'essence de la plume dont je me sers actuellement pour écrire cette lettre. Si je connaissais l'essence de cette plume précisément (je ne parle pas des plumes en général, mais uniquement de celle que je tiens actuellement entre mes doigts, qui est un *être individuel*, comme on le nomme dans la métaphysique, et qui est distinguée de toutes les autres plumes qui se trouvent dans le monde); si je connaissais donc l'essence de cette plume individuelle, je serais en état de la distinguer de toutes les autres; et il serait impossible de la changer, sans que je m'en aperçusse d'abord : je devrais connaître à fond la nature, le nombre et l'arrangement de toutes les parties dont elle est composée. Mais combien s'en faut-il que je n'aie une telle connaissance! Pendant que je me lève un moment, mes enfants me pourraient bien changer cette plume en en mettant une autre à sa place, sans que je le remarquasse, et quand même j'y aurais fait une remarque; ne pourraient-ils pas la contrefaire sur une autre plume? et si cela était impossible à mes enfants, il faudrait toujours convenir que Dieu pourrait faire une autre plume si semblable à celle-ci, que je ne saurais jamais reconnaître la différence. Ce serait pourtant une autre plume réellement distinguée de la mienne, et Dieu en connaîtrait sans doute la différence; c'est-à-dire que Dieu connaît parfaitement l'essence de l'une et de l'autre de ces deux plumes : or, moi qui n'y

découvre aucune différence, il est certain que l'essence de cette plume individuelle m'est tout à fait inconnue.

Il en est de même de toutes les autres choses individuelles, et on peut hardiment soutenir que ce n'est que Dieu qui connaît l'essence ou la nature de chacune. V. A. ne saurait assigner aucune chose réellement existante, dont nous puissions avoir une connaissance si parfaite, qu'il fût impossible de nous y tromper jamais; c'est, pour ainsi dire, l'empreinte dont le Créateur a marqué toutes les choses créées, et dont la nature sera toujours un mystère pour nous.

Il est donc très-certain que nous ne connaissons point l'essence des choses individuelles, ou tous les caractères dont chacune est distinguée de toutes les autres; mais il n'en est pas de même des espèces et des genres, qui sont des notions générales qui embrassent à la fois une infinité de choses individuelles. Ce ne sont pas des êtres actuellement existants; ce ne sont que des notions que nous formons nous-mêmes dans nos esprits, en rangeant plusieurs choses individuelles dans la même classe, que nous nommons une *espèce* ou un *genre*, selon que le nombre des choses individuelles qui y sont comprises est plus ou moins grand.

Ainsi, pour m'arrêter à l'exemple de la plume, comme il y a une infinité de choses à chacune desquelles je donne le même nom de plume, quoiqu'elles diffèrent toutes entre elles, la notion de *plume* est une idée générale dont nous sommes

nous-mêmes les créateurs, et elle n'existe que dans notre esprit. Cette notion ne renferme que les caractères communs qui constituent l'essence de la notion générale d'une plume, et cette essence nous doit être bien connue, puisque nous sommes en état de distinguer toutes les choses que nous nommons *plumes*, de toutes les autres que nous ne comprenons pas sous ce nom.

Dès que nous remarquons dans une chose certains caractères ou certaines qualités, nous disons qu'elle est une plume, et nous sommes en état de la distinguer de toutes les autres choses qui ne sont pas plumes, quoique nous soyons fort éloignés de la distinguer de toutes les autres plumes.

Plus une notion est générale, et moins comprend-elle de caractères qui en constituent l'essence, et par conséquent il est aussi plus aisé de reconnaître cette essence. Nous comprenons plus facilement ce que c'est qu'un arbre en général, qu'un cerisier, ou un poirier, ou un pommier, et quand ce sont des espèces; et quand je dis, Telle chose que je vois dans un jardin est un arbre, je ne me trompe pas; mais je pourrais bien me tromper si je disais que c'est un cerisier. Il faut donc que je connaisse mieux l'essence d'un arbre en général que les espèces; je ne confondrai pas si aisément un arbre avec une pierre, qu'un cerisier avec un prunier.

Or, une notion en général s'étend encore infiniment plus loin, et par conséquent son essence ne comprend que les caractères qui sont communs à tous les êtres que nous nommons *corps*. Elle se ré-

duit donc à très-peu de chose, puisqu'il en faut exclure tous les caractères qui distinguent un corps des autres.

Il est donc fort ridicule d'avancer, comme font quelques philosophes, que l'essence des corps en général nous est inconnue. Si cela était, nous ne serions jamais en état de dire avec assurance que telle chose est un corps, ou qu'elle ne l'est pas : et puisque nous ne saurions nous tromper à cet égard, il faut bien que nous connaissions suffisamment la nature ou l'essence des corps en général. Or, cette connaissance se réduit à l'étendue, l'impénétrabilité et l'inertie.

LETTRE LIV.

(25 avril 1761.)

Sur la vraie notion de l'étendue.

J'ai déjà eu l'honneur de prouver à V. A. que la notion générale d'un corps renferme nécessairement ces trois qualités, l'étendue, l'impénétrabilité et l'inertie, sans lesquelles aucun être ne saurait être rangé dans la classe des corps. Les plus scrupuleux même ne sauraient disconvenir de la nécessité de ces trois qualités pour constituer un corps, mais ils doutent si ces trois caractères sont suffisants. Peut-être, disent-ils, y a-t-il encore plusieurs autres caractères qui sont également nécessaires pour l'essence d'un corps.

Mais je leur demande : Si Dieu créait un être dépouillé de ces autres caractères inconnus, et qu'il n'eût que les trois rapportés, *douteraient-ils* de donner le nom de corps à cet être? Non, sans doute; car s'ils avaient le moindre doute là-dessus, ils ne sauraient dire avec assurance que les pierres que nous rencontrons dans la rue sont des corps, puisqu'ils sont incertains si les prétendus caractères inconnus se trouvent dans ces pierres ou non?

Quelques-uns s'imaginent que la pesanteur est aussi une propriété essentielle de tous les corps, puisque tous les corps que nous connaissons sont pesants; mais si Dieu les dépouillait de la pesanteur, cesseraient-ils pour cela d'être des corps? Ensuite, qu'ils considèrent les corps célestes, qui ne tombent pas en bas, comme il devrait arriver s'ils étaient pesants comme nos corps que nous touchons, et pourtant ils ne doutent pas de les nommer corps. Et quand même tous les corps seraient pesants, il ne s'ensuivrait pas que la pesanteur soit une propriété essentielle des corps, puisqu'un corps resterait corps, quoique sa pesanteur fût détruite par un miracle.

Mais ce même raisonnement n'a pas lieu dans les trois propriétés essentielles que je viens d'alléguer. Si Dieu anéantissait l'étendue d'un corps, il ne serait plus certainement un corps; et un corps dépouillé de l'impénétrabilité ne serait plus nommé corps, ce serait un spectre, un fantôme; et il en est de même de l'inertie.

V. A. sait que l'étendue est l'objet propre de la géométrie, où l'on ne considère les corps qu'en tant

qu'ils sont étendus, en faisant abstraction de l'impénétrabilité et de l'inertie; donc l'objet de la géométrie est une notion bien plus générale que celle des corps, puisqu'il renferme non-seulement les corps, mais aussi tous les êtres simplement étendus sans impénétrabilité s'il y en avait. De là il s'ensuit que toutes les propriétés qu'on déduit dans la géométrie de la notion de l'étendue, doivent aussi avoir lieu dans les corps, en tant qu'ils sont étendus; car tout ce qui convient à une notion plus générale, par exemple à celle d'un arbre, doit aussi convenir à la notion d'un cerisier, d'un poirier, d'un pommier, etc.; et ce principe est même le fondement de tous nos raisonnements, en vertu desquels nous affirmons et nions toujours, des espèces et des choses individuelles, tout ce que nous affirmons et nions du genre.

Cependant il y a des philosophes, et même la plupart d'aujourd'hui, qui nient hautement que les propriétés qui conviennent à l'étendue en général, c'est-à-dire, comme on les considère en géométrie, aient lieu dans les corps réellement existants. Ils disent que l'étendue de la géométrie est un être abstrait, des propriétés duquel on ne saurait rien conclure sur les choses réelles : ainsi, quand j'ai démontré que les trois angles d'un triangle sont ensemble égaux à deux angles droits, c'est une propriété qui ne convient qu'à un triangle abstrait, et point du tout à un triangle réel.

Mais ces philosophes ne s'aperçoivent pas des suites fâcheuses qui découlent naturellement de la

différence qu'ils mettent entre les objets formés e abstraction et les objets réels; et s'il n'était pas pe mis de conclure des premiers aux derniers, aucu conclusion et aucun raisonnement ne sauraie plus subsister, puisque nous concluons toujou des notions générales aux particulières.

Or, toutes les notions générales sont aussi bien d êtres abstraits que l'étendue géométrique; et un arb en général, ou la notion générale des arbres n'e formée que par abstraction, et existe aussi peu hc de nos esprits que l'étendue géométrique. La noti de l'homme en général n'existe nulle part; tous l hommes qui existent sont des êtres individuels, répondent à des notions individuelles; l'idée gén rale qui les renferme tous n'est formée que par al traction.

Le reproche que ces philosophes font continuel ment aux géomètres, qu'ils ne s'occupent qu'à c choses abstraites, est donc bien mal placé, puisq toutes les autres sciences roulent principalement s des notions générales, qui ne sont pas plus réel que l'objet de la géométrie. Le malade en géné que le médecin a en vue, et dont l'idée renferme to les malades réellement existants, n'est qu'une ic abstraite; et même le mérite de chaque science d'autant plus grand, qu'il s'étend à des notions p générales, c'est-à-dire plus abstraites.

L'ordinaire prochain, j'aurai l'honneur de marqu à V. A. à quoi aboutissent ces reproches que les p losophes font aux géomètres, et pourquoi ils ne ve lent pas permettre qu'on attribue aux êtres étend

réels, c'est-à-dire aux corps existants, les propriétés qui conviennent à l'étendue en général, ou à l'étendue abstraite. Ils craignent que leurs principes de métaphysique n'en souffrent.

LETTRE LV.

(28 avril 1761.)

Sur la divisibilité à l'infini de l'étendue.

La controverse entre les philosophes modernes et les géomètres, dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A., roule sur la divisibilité des corps. Cette propriété est sans doute fondée sur l'étendue; et ce n'est qu'en tant que les corps sont étendus qu'ils sont divisibles, et qu'on les peut diviser en parties.

V. A. se souviendra qu'en géométrie on peut toujours partager une ligne en deux parties égales, quelque petite qu'elle soit. On y enseigne encore comment on doit diviser une petite ligne, comme *ai*, en autant de parties égales qu'on veut; et la construction de cette division y est démontrée en sorte qu'on ne saurait pas douter de sa justesse.

On n'a qu'à tirer à la ligne *ai* (*fig.* 1) une ligne parallèle AI, quelque grande et à quelque distance qu'on veuille, et y transporter autant de parties égales AB, BC, CD, DE, etc., en combien de parties égales la petite ligne donnée doit être divisée, par exemple en huit. Ensuite on tire, par les extrémités

A, *a*, et I, *i*, les lignes droites A*a*O, I*i*O, jusqu'à ce qu'elles se joignent en O; et par ce point O on mène, vers tous les points des divisions B, C, D, E, etc., les lignes droites OB, OC, OD, OE, etc., qui couperont en même temps la petite ligne *ai* aussi en huit parties égales.

Cette opération réussit, quelque petite que soit la ligne proposée *ai*, et quelque grand que puisse être le nombre des parties. Il est bien vrai que l'exécution ne nous permet pas d'aller trop loin; les lignes que nous tirons ont toujours quelque largeur par laquelle elles se confondent, comme V. A. peut le voir dans la figure près du point O; mais il est question ici de ce qui est possible en soi-même, et non de ce que nous sommes en état d'exécuter. Or, dans la géométrie les lignes n'ont aucune largeur, et ne se confondent par conséquent jamais. De là il s'ensuit qu'une telle division n'est limitée par aucune borne.

Dès que V. A. m'accorde qu'une ligne peut être divisée en mille parties, en partageant chaque partie en deux, elle sera aussi divisible en deux mille parties, et par la même raison en quatre mille parties, et puis en huit mille, sans qu'on parvienne jamais à des parties si petites, qu'on ne puisse plus diviser. Quelque petite qu'on conçoive une ligne, elle est divisible en deux moitiés, et ensuite chaque moitié encore en deux, et chacune de celles-ci encore en deux, et ainsi de suite à l'infini.

Ce que je viens de dire ici d'une ligne s'applique aisément à une surface, et encore à plus forte raison à un solide doué de toutes les trois dimensions en

longueur, largeur et profondeur. De là on dit que toute étendue est divisible à l'infini, et cette propriété est nommée *la divisibilité à l'infini.*

Quiconque voudrait nier cette propriété de l'étendue serait obligé de soutenir qu'on en viendrait enfin à des parties si petites, qu'elles ne seraient plus susceptibles d'une division ultérieure; et cela, parce qu'elles n'auraient plus d'étendue. Cependant toutes ces particules prises ensemble doivent reproduire le tout, par la division duquel on y est parvenu; donc, puisque la quantité de chacune serait *rien* ou *zéro*, plusieurs zéros pris ensemble produiraient quelque quantité, ce qui est ouvertement absurde. Car V. A. sait bien, par l'arithmétique, que deux ou plusieurs zéros joints ensemble ne donnent jamais quelque chose.

Ce sentiment est donc absolument insoutenable, que, dans la division d'une étendue ou d'une quantité quelconque, on parvienne enfin à des particules si petites, qui ne seraient plus divisibles à cause de leur petitesse, où il n'y aurait plus de quantité.

Pour en rendre l'absurdité plus sensible, supposons qu'une ligne d'un pouce de longueur ait été divisée en mille parties, et que ces parties soient si petites qu'elles n'admettent plus de division. Chaque partie n'aurait donc plus de grandeur; car si elle avait encore quelque grandeur, elle serait encore divisible. Chaque particule serait par conséquent *rien*, et même un vrai rien. Or, si toutes ces mille particules ensemble faisaient la longueur d'un pouce,

donc, la millième partie d'un pouce serait rien ; ce qui est aussi absurde que de soutenir que la moitié d'une quantité ne soit rien. Or, s'il est absurde que la moitié d'une quantité ne soit rien, il est aussi absurde que la moitié d'une moitié, ou le quart de la quantité même, ne soit rien ; et ce qu'on m'accorde à l'égard du quart, on doit aussi me l'accorder à l'égard de la millième partie, et aussi à l'égard de la millionième partie. Enfin, quelque loin qu'on ait déjà poussé en imagination la division d'un pouce, il est toujours possible de la pousser encore plus loin ; et on ne parviendra jamais si loin, que les dernières parties soient absolument indivisibles. Ces parties deviendront sans doute de plus en plus petites, et leur grandeur approchera de plus en plus de zéro, mais elles n'y atteindront jamais.

De là on a bien raison de dire, dans la géométrie, que toute grandeur est divisible à l'infini, et que dans une telle division on ne saurait jamais arriver si loin, qu'une division ultérieure soit impossible en elle-même. Or ici il faut toujours bien distinguer ce qui est possible en soi-même, de ce que nous sommes en état de faire actuellement. Notre pratique a bien des bornes. Après avoir divisé, par exemple, un pouce en mille parties, ces parties sont si petites, qu'elles échappent à notre vue, et une division ultérieure nous serait certainement impossible.

Mais on n'a qu'à regarder cette millième partie d'un pouce par un microscope qui grossit, par exemple, mille fois, et chaque particule nous paraîtra aussi grande qu'un pouce à la vue simple : d'où l'on

sera convaincu de la possibilité de partager chacune de ces particules encore en mille parties ; et le même raisonnement se peut pousser toujours plus loin, sans qu'on soit jamais arrêté.

C'est donc une vérité indubitable, que toute grandeur est divisible à l'infini ; et elle a lieu non-seulement à l'étendue, qui est l'objet de la géométrie, mais aussi à l'égard de toutes les autres espèces de quantités, comme du temps et du nombre.

LETTRE LVI.

(2 mai 1761.)

Si cette divisibilité à l'infini a lieu dans les corps actuellement existants?

C'est donc une vérité bien constatée, que l'étendue est divisible à l'infini, et qu'il est impossible de concevoir des parties si petites, qu'elles ne soient plus susceptibles d'une division ultérieure. Aussi les philosophes ne disconviennent pas de cette vérité, mais ils nient qu'elle ait lieu dans les corps actuellement existants. Ils disent que l'étendue, dont on a démontré la divisibilité à l'infini, n'est qu'un objet chimérique formé par abstraction, et qu'une simple étendue, comme on la considère dans la géométrie, ne saurait exister dans le monde.

A cet égard ils ont bien raison, et l'étendue est sans doute une idée générale formée par abstraction, de même que l'idée de l'homme, ou de l'arbre en

général, qui n'est formée que par abstraction; et comme l'homme ou l'arbre en général n'existent pas, l'étendue en général n'existe pas non plus. V. A. comprend qu'il n'y a que des êtres individuels qui existent, et que les notions générales ne se trouvent que dans notre esprit; mais on ne saurait dire pour cela que ces notions générales soient chimériques; elles renferment plutôt le fondement de toutes nos connaissances.

Tout ce qui convient à une notion générale, et toutes les propriétés qui lui sont attachées, trouvent aussi nécessairement lieu dans tous les individuels qui sont compris dans cette notion générale. Quand on dit que la notion générale de l'homme renferme un entendement et une volonté, on prétend sans doute que chaque homme individuel est revêtu de ces facultés. Et combien de propriétés ces mêmes philosophes ne se vantent-ils pas de démontrer, qui sont le partage de la substance en général, qui est sans doute une idée aussi abstraite que celle de l'étendue; et pourtant ils soutiennent que toutes ces propriétés conviennent à toutes les substances individuelles, qui toutes sont étendues. En effet, si une telle substance n'avait pas ces propriétés, il serait faux qu'elles convinssent à la substance en général.

Donc, si les corps, qui sont sans doute des êtres étendus ou doués de l'étendue, n'étaient pas divisibles à l'infini, il serait aussi faux que la divisibilité à l'infini fût une propriété de l'étendue. Or, ces philosophes avouent bien que cette propriété convient à l'étendue, mais ils prétendent qu'elle ne saurait

avoir lieu dans les êtres étendus. Il en est de même que si je voulais dire que l'entendement et la volonté sont bien des attributs de la notion de l'homme en général, mais ils ne sauraient avoir lieu dans les hommes individuels existants.

De là V. A. tirera aisément cette conclusion. Si la divisibilité à l'infini est une propriété de l'étendue en général, il faut nécessairement qu'elle convienne aussi à tous les êtres individuels étendus; ou bien, si les êtres actuels étendus ne sont pas divisibles à l'infini, il est faux que la divisibilité à l'infini soit une propriété de l'étendue en général.

On ne saurait nier l'une ou l'autre de ces conséquences, sans renverser les principes les plus solides de toutes nos connaissances; et les philosophes, qui n'admettent pas la divisibilité à l'infini dans les êtres réels étendus, ne devraient pas l'admettre non plus dans l'étendue en général; mais comme ils accordent le dernier, ils tombent dans une contradiction ouverte.

V. A. ne doit pas en être surprise; c'est un défaut dont les plus grands hommes ne sont pas exempts. Mais ce qui est bien surprenant, ces philosophes, tâchant de se tirer de cet embarras, s'avisent de nier que les corps soient étendus. Ils disent que ce n'est que l'apparence d'une étendue qui se trouve dans les corps, et que l'étendue ne leur convient nullement.

V. A. comprend aisément que c'est une misérable chicane, par laquelle ils nient la principale et la plus évidente propriété de tous les corps. C'est une extra-

vagance toute semblable à celle qu'on a reprochée autrefois aux philosophes épicuriens, qui soutenaient que tout ce qui existe dans le monde est matériel, sans même en excepter les dieux, dont ils admettent l'existence. Mais comme ils comprenaient que ces dieux corporels seraient assujettis aux plus grandes difficultés, ils ont inventé une échappatoire semblable à celle des philosophes de nos jours, en disant que les dieux n'avaient pas des corps, mais des *quasi-corps*, et qu'ils n'avaient pas des sens, mais des *quasi-sens*, et ainsi de tous ces membres. Les autres sectes de philosophes de l'antiquité se sont moquées de ces *quasi-corps* et *quasi-sens ;* et ils se moqueraient aujourd'hui, avec autant de raison, de la *quasi-étendue* que nos philosophes attribuent aux corps : ce nom de *quasi-étendue* semble parfaitement bien exprimer cette apparence d'étendue, sans qu'elle soit une véritable étendue.

Or, pour les confondre, les géomètres n'auraient qu'à dire que les objets dont ils ont prouvé la divisibilité à l'infini n'étaient aussi qu'une *quasi-étendue ;* et ainsi, que tous les êtres doués d'une quasi-étendue étaient nécessairement divisibles à l'infini. Mais il n'y a rien à gagner avec eux : on est prêt plutôt à soutenir les plus grandes absurdités, que d'avouer sa faute. V. A. remarquera que c'est là le caractère de la plupart des savants.

LETTRE LVII.

(5 mai 1761.)

De la fameuse dispute sur les monades.

Quand on parle dans les compagnies de matières de philosophie, les discours roulent ordinairement sur des articles qui ont occasionné de grandes disputes parmi les philosophes.

La divisibilité des corps est un tel article, et sur lequel les sentiments des savants sont fort partagés. Les uns soutiennent que cette divisibilité va à l'infini, sans qu'on parvienne jamais à des particules si petites, qui ne seraient plus susceptibles d'une division ultérieure. Mais les autres prétendent que cette division ne va que jusqu'à un certain point, et qu'on parvient enfin à des particules si petites, qui, n'ayant aucune grandeur, ne sauraient plus être divisées. Ils nomment ces dernières particules, qui entrent dans la composition de tous les corps, des êtres simples et des monades.

Il y eut un temps où la dispute des monades était si vive et si générale, qu'on en parlait avec beaucoup de chaleur dans toutes les compagnies, et même dans les corps de garde. A la cour il n'y avait presque point de dames qui ne se fussent déclarées ou pour ou contre les monades. Enfin, partout le discours tombait sur les monades, et on ne parlait que de cela.

L'Académie royale de Berlin prit beaucoup de part à ces disputes ; et comme elle a la coutume de proposer tous les ans une question, et de distribuer un prix d'une médaille d'or de cinquante ducats à celui qui aura le mieux discuté la question proposée au jugement de l'Académie, elle choisit pour l'année 1746 la question sur les monades. On avait donc reçu un grand nombre de pièces sur cette matière, et feu M. le président de Maupertuis nomma une commission pour les examiner, et en remit la direction à feu M. le comte de Dohna, grand-maître de la cour de S. M. la reine, qui, étant un juge impartial, examina avec tous les soins imaginables les preuves qui furent alléguées tant pour que contre l'existence des monades. Enfin on trouva que celles qui en devaient établir l'existence étaient si faibles et si chimériques, que tous les principes de nos connaissances en seraient renversés. On a donc décidé en faveur du sentiment opposé, et le prix fut adjugé à la pièce de M. de Justi, qui avait le mieux combattu les monades.

V. A. comprendra aisément que cette démarche de l'Académie a terriblement irrité les partisans des monades, à la tête desquels se trouvait le grand et fameux M. de Wolf, qui ne prétendait pas être moins infaillible dans ses décisions que le pape. Ses sectateurs, dont le nombre était alors beaucoup plus grand et plus redoutable qu'aujourd'hui, crièrent hautement contre l'injustice et la partialité de l'Académie; et il s'en fallut peu que leur chef ne lançât la foudre de l'anathème philosophique contre

toute l'Académie. Je ne me souviens plus à qui nous avons l'obligation de l'avoir échappé.

Comme cette matière a fait beaucoup de bruit, V. A. ne sera pas sans doute fâchée que je m'y arrête un peu. Toute la dispute se réduit à cette question, Si les corps sont divisibles à l'infini, ou non? ou bien, Si la divisibilité des corps a des bornes, ou non? Là-dessus, j'ai déjà remarqué que de part et d'autre on tombe d'accord que l'étendue qu'on considère dans la géométrie est divisible à l'infini; puisque, quelque petite que soit une grandeur, on en peut concevoir encore la moitié, et de cette moitié encore la moitié, et ainsi de suite sans fin.

Cette notion de l'étendue est bien une notion abstraite, de même que les notions de tous les genres, comme de l'homme, du cheval, de l'arbre, etc., en tant qu'on n'applique pas ces notions à un être individuel et déterminé. Ensuite, c'est le principe le plus certain de toutes nos connaissances, que tout ce qui convient au genre convient aussi à tous les individus qui sont compris sous ce genre. Donc, si tous les corps sont étendus, toutes les propriétés qui conviennent à l'étendue doivent aussi convenir à chaque corps en particulier. Or, tous les corps sont étendus, et l'étendue est divisible à l'infini; donc, chaque corps le sera aussi. Voilà un syllogisme dans la meilleure forme; et puisqu'on ne saurait douter de la première proposition, il ne s'agit que de savoir si la seconde est vraie ou non; c'est-à-dire, s'il est vrai ou non que les corps sont étendus.

Les partisans des monades, pour soutenir leur

sentiment, sont obligés de dire que les corps ne sont pas étendus, et qu'ils n'ont qu'une étendue apparente, ou une *quasi-étendue*. Par là ils croient avoir suffisamment détruit l'argument rapporté pour la divisibilité à l'infini. Mais si les corps ne sont pas étendus, je voudrais bien savoir d'où nous avons puisé notre idée de l'étendue ; car si les corps ne sont pas étendus, rien n'est étendu au monde, puisque les esprits le sont encore moins. Notre idée de l'étendue serait donc tout à fait imaginaire et chimérique.

Dans ce cas, la géométrie serait une spéculation entièrement inutile et illusoire, et elle n'admettrait jamais aucune application aux choses qui existent réellement au monde : car si rien n'est étendu, à quoi bon approfondir les propriétés de l'étendue? Mais puisque la géométrie est sans contredit une des sciences les plus utiles, il faut bien que son objet ne soit pas une pure chimère.

On sera donc obligé d'accorder que l'objet de la géométrie est au moins la même étendue apparente que ces philosophes admettent dans les corps ; or, ce même objet est divisible à l'infini : donc aussi les êtres existants doués de cette étendue apparente le seront nécessairement.

Enfin, de quelque manière que ces philosophes se tournent pour soutenir leurs monades, ou ces dernières et plus petites particules sans aucune grandeur, dont, selon eux, tous les corps sont composés, ils se plongent toujours dans les plus grandes difficultés, dont ils ne sauraient jamais se débarras-

ser. Ils disent bien que ce ne sont que des esprits grossiers qui ne sauraient goûter leur sublime doctrine; mais on remarque pourtant que les génies les plus stupides y réussissent le mieux.

LETTRE LVIII.

(9 mai 1761.)

Réflexions ultérieures sur la divisibilité à l'infini des corps, et sur les monades.

Quand on parle de la divisibilité des corps, il faut bien distinguer celle qui est en notre pouvoir, de celle qui est possible en elle-même. Dans le premier sens, il n'y a aucun doute que la division dont nous sommes capables pour diviser les corps atteint bientôt ses bornes.

En pilant une pierre, nous la pouvons bien réduire en poudre; et si l'on pouvait compter toutes les petites parcelles qui forment cette poudre, leur nombre serait sans doute bien grand, et on serait surpris d'avoir divisé la pierre en tant de parties. Mais ces mêmes parcelles seront presque indivisibles à notre égard, puisque tous les instruments dont nous pourrions nous servir n'y ont aucune prise. Cependant on ne saurait dire qu'elles sont indivisibles en elles-mêmes; on n'a qu'à regarder par un microscope, et chacune paraîtra comme une pierre assez considérable, sur laquelle on peut distinguer

quantité de points et d'inégalités; d'où nous sommes convaincus qu'une division ultérieure y est bien possible, quoique nous ne soyons pas en état de l'exécuter. Car partout où l'on peut distinguer plusieurs points dans un objet, il faut bien qu'il soit divisible au moins en autant de parties.

Ainsi on ne parle pas de la division actuelle à laquelle nos forces et notre adresse sont suffisantes, mais de celle qui est possible en elle-même, et que la toute-puissance divine pourrait exécuter.

C'est aussi dans ce sens que les philosophes prennent le mot de divisibilité; de sorte que s'il y avait une grande pierre, et qu'elle fût si dure qu'aucune force ne fût capable de la casser, on ne *douterait* pas d'avancer que cette pierre était, de sa nature, aussi bien divisible que la plus fragile de la même grandeur. Et combien de corps n'y a-t-il pas sur lesquels nous n'avons aucune prise, et dont nous ne doutons pas qu'ils ne soient divisibles? Qui doute que la lune ne soit un corps divisible, quoiqu'il ne puisse pas en détacher la moindre partie; et cela, par la seule raison qu'elle a de l'étendue?

Partout où nous remarquons de l'étendue, nous sommes forcés d'y reconnaître la divisibilité; de sorte que la divisibilité est une propriété inséparable de l'étendue. Mais l'expérience nous convainc aussi que la division des corps va très-loin. Je ne m'arrête pas à l'exemple d'un ducat, qu'on allègue ordinairement, que les ouvriers savent battre en feuilles si minces qu'on en peut couvrir une très-grande surface; et le ducat sera divisé en autant de

parties que cette surface peut l'être. Notre propre corps nous fournit un exemple bien surprenant. Que V. A. considère les moindres veines et les moindres nerfs dont notre corps est rempli, et encore les fluides qui passent au travers. La subtilité qu'on y découvre surpasse notre imagination.

Ensuite les plus petits insectes que nous ne voyons presque point à la vue simple, ils ont tous leurs membres et leurs jambes, avec lesquelles ils marchent avec une prodigieuse vitesse. D'où nous comprenons que chaque jambe a ses muscles, composés de quantité de fibres; qu'il y a des nerfs, et un fluide encore beaucoup plus subtil qui les traverse.

Quand on considère, à l'aide d'un excellent microscope, la moindre goutte d'eau, elle ressemble à une mer, où l'on voit nager des milliers de petites créatures vivantes, dont chacune est nécessairement composée d'une infinité de petites fibres musculaires et nerveuses, dont la structure merveilleuse nous doit ravir en admiration. Ensuite ces petites créatures, quoiqu'elles soient peut-être les plus petites que nous puissions découvrir par les microscopes, elles ne sont pas sans doute les plus petites que Dieu ait produites. Autant elles sont plus petites que nous, il y en aura vraisemblablement aussi d'autres qui sont autant de fois plus petites qu'elles. Enfin, celles-ci ne seront pas aussi les plus petites; elles seront également suivies d'une infinité de nouvelles classes, dont chacune comprend des créatures incomparablement plus petites que les précédentes.

C'est ici que nous devons reconnaître la toute puissance de la sagesse du Créateur, aussi bien qu dans la grandeur des créatures; et il me sembl que la considération de toutes ces petitesses, don chacune est suivie d'une autre encore incompara blement plus petite, doit faire la plus vive impres sion sur nos esprits, et les porter aux plus sublime idées des œuvres du Tout-Puissant, dont le pouvoi n'est pas moins illimité à l'égard des petites chose que des grandes.

C'est donc aussi à cet égard une marque d'u esprit très-borné, de s'imaginer qu'après avoir divis un corps en un grand nombre de parties, on par vienne enfin à des particules si petites, qu'à caus de leur petitesse elles se refusent à toute divisio ultérieure. Mais supposons qu'on parvienne à de particules si petites que, par leur propre nature elles ne sauraient plus être divisées, ce qui est bie le cas des monades : avant d'arriver à ce point, o aura une particule composée seulement de deu monades, et cette particule aura une certaine gran deur ou étendue; car sans cela elle n'aurait pas ét divisible en ces deux monades. Supposons de plu que cette particule, puisqu'elle a encore quelqu étendue, soit la millième partie d'un pouce, ou en core plus petite, si l'on veut, car il n'importe; c que je dirai de la millième partie d'un pouce s pourrait dire également de toute autre partie plu petite. Cette millième partie d'un pouce est don composée de deux monades; et par conséquent deu monades ensemble seraient la millième partie d'u

pouce, et deux mille fois rien, un pouce entier; l'absurdité en saute d'abord aux yeux.

Aussi les monadistes redoutent-ils beaucoup cet argument, et ils sont fort indécis quand on leur demande combien de monades il faut pour produire une étendue? Il leur semble que deux seraient trop peu, et ils disent qu'il en faut plusieurs. Or, si deux monades ne peuvent pas produire de l'étendue, puisque chacune n'en a point, ni trois, ni quatre, ni autant qu'on veut, n'en produiront pas non plus, par la même raison; ce qui renverse de fond en comble tout le système des monades.

LETTRE LIX.

(12 mai 1761.)

Réfutation et réponse aux objections des monadistes contre la divisibilité à l'infini des corps.

Il s'en faut beaucoup que les partisans des monades se rendent aux raisons qu'on allègue pour prouver la divisibilité des corps à l'infini. Sans renverser directement ces raisons, ils disent que la divisibilité à l'infini est une chimère des géomètres, et qu'elle implique des contradictions ouvertes. Car si chaque corps est divisible à l'infini, il contiendrait une infinité de parties, les plus petits corps aussi bien que les grands : le nombre de ces particules auxquelles la divisibilité à l'infini doit conduire,

c'est-à-dire, des particules dernières dont les corps sont composés, sera donc aussi grand dans le plus petit corps que dans le plus grand, ce nombre étant dans l'un et dans l'autre infini; et de là les partisans des monades se flattent que leur argument devient invincible. Car si le nombre des dernières particules dont deux corps sont composés est le même de part et d'autre, il faut bien, disent-ils, que les corps soient parfaitement égaux entre eux.

Or, ceci suppose ouvertement que les dernières particules sont toutes parfaitement égales entre elles; car si les unes étaient plus grandes que les autres, il ne serait pas surprenant que l'un des deux corps fût beaucoup plus grand que l'autre. Mais, disent-ils, il faut bien que toutes les dernières particules de tous les corps soient égales entre elles, puisqu'elles n'ont plus aucune étendue, et que leur grandeur s'évanouit absolument, ou qu'elle est rien. De là ils forment même une nouvelle objection, en disant que tous les corps seraient composés d'une infinité de riens, ce qui serait encore une plus grande absurdité.

J'en conviens très-volontiers, mais je remarque que les monadistes ne devraient pas faire cette objection, eux qui soutiennent que tous les corps sont composés d'un certain nombre de monades, quoique les monades, par rapport à la grandeur, soient absolument des riens; de sorte que, de leur propre aveu, plusieurs riens sont capables de produire un corps. Ils disent bien que leurs monades ne sont pas rien, mais qu'elles sont douées d'une excellente qua

lité, sur laquelle la nature des corps qui en sont composés est fondée. Or, ici il n'est question que de l'étendue; et comme ils sont obligés de dire que leurs monades n'ont aucune étendue, ou que leur étendue est rien, selon eux quelques riens feraient toujours quelque chose.

Mais je ne veux pas pousser plus loin cet argument contre les monades : il s'agit ici de répondre directement à leur objection tirée des dernières particules de tous les corps, et par laquelle ils se flattent de remporter une victoire complète sur les partisans de la divisibilité à l'infini.

Or, d'abord je voudrais bien savoir ce que les monadistes entendent par les dernières particules d'un corps. Dans leur système, où chaque corps est composé d'un certain nombre de monades, je comprends très-bien que les dernières particules d'un corps sont les monades mêmes qui le constituent; mais dans le système de la divisibilité à l'infini, ce mot de dernières particules m'est absolument incompréhensible.

Ils disent bien que ce sont les particules auxquelles on parvient à la division d'un corps, après qu'on aura continué cette division à l'infini. Mais il me semble que c'est autant que si l'on disait : après qu'on aura achevé une division qui ne finit jamais. Car la divisibilité à l'infini ne signifie autre chose que la possibilité de continuer toujours la division plus loin, sans qu'on parvienne jamais à la fin, où l'on serait obligé de cesser. Donc celui qui soutient la divisibilité à l'infini nie hautement l'existence des der-

nières particules des corps; et c'est une contradiction manifeste de supposer des dernières particules et la divisibilité à l'infini en même temps.

Je réponds donc aux monadistes que leur objection contre la divisibilité des corps à l'infini serait très-bonne, si ce système admettait des dernières particules; mais puisque ces dernières particules en sont expressément exclues, tout ce magnifique raisonnement se détruit de lui-même.

Il est donc faux que, dans le système de la divisibilité à l'infini, les corps soient composés d'une infinité de particules. Quelque liées que paraissent ces deux propositions aux partisans des monades, elles se contredisent ouvertement; car celui qui soutient que les corps sont divisibles à l'infini, ou sans fin, nie absolument l'existence des dernières particules, et par conséquent il ne saurait y être question des dernières particules. Ce mot ne signifie autre chose que des particules telles, qu'elles ne sauraient plus être divisées, une signification qui ne saurait en aucune manière subsister dans le système de la divisibilité à l'infini. Cette formidable attaque des monadistes est donc entièrement repoussée (1).

(1) Dans le système de Kant, la divisibilité des corps à l'infini est l'objet d'une des quatre *antinomies* principales de la *raison pure*. L'antinomie résulte de ce que la *thèse* et l'*antithèse* reposent sur deux argumentations logiques également valables. La solution de l'antinomie consiste à dire que les objets de nos institutions ne sont pas des *choses en soi*, mais des *phénomènes*, déterminés dans leurs formes par les lois constitutives de l'entendement. *Voyez* la *Critique de la raison pure.*

LETTRE LX.

(16 mai 1761.)

Sur le principe de la raison suffisante, qui est le plus fort appui des monadistes.

V. A. reconnaîtra aisément que, des deux systèmes dont j'ai tant parlé, il faut absolument que l'un soit vrai et l'autre faux, puisqu'il n'y a point de troisième qui tienne un milieu entre eux.

On convient de part et d'autre que les corps sont divisibles; il s'agit seulement de décider si cette divisibilité a des bornes, ou si elle peut aller toujours plus loin, sans qu'on parvienne jamais à des particules indivisibles.

Si le premier cas a lieu, c'est le système des monades qui est établi; car, après avoir divisé un corps jusqu'à ce qu'on soit parvenu à ces particules qui ne sont plus susceptibles de division, ces mêmes particules sont les monades; et on aurait raison de dire que tous les corps sont composés de monades, et chacun d'un certain nombre déterminé. Donc, qui nie le système des monades doit nier aussi que la divisibilité des corps ait des bornes. Il doit donc soutenir qu'il est possible de pousser cette divisibilité toujours plus loin, sans qu'on soit jamais réduit à s'arrêter; et c'est l'autre cas de la divisibilité à l'infini, où l'on nie absolument l'existence des dernières particules, et par conséquent toutes les diffi-

cultés tirées du nombre infini des dernières particul se détruisent elles-mêmes. Dès qu'on nie les m nades, on ne saurait plus parler des dernières pa ticules, et encore moins de leur nombre, qui ent dans la composition de chaque corps.

V. A. aura remarqué que ce que j'ai rapporté ju qu'ici en faveur des monadistes n'est pas d'un gran poids. Mais à présent j'aurai l'honneur de lui di que leur plus fort appui est le grand principe de *raison suffisante*, dont ils savent se servir si adro tement, que par son moyen ils sont en état de d montrer tout ce qui leur convient, et détruire to ce qui s'oppose à leurs sentiments. C'est donc la pl heureuse découverte qu'on ait jamais faite, savoi que rien ne saurait être sans une raison suffisant et c'est uniquement aux philosophes modernes q nous en sommes redevables.

Pour donner une idée de ce prétendu princip V. A. n'a qu'à considérer que de tout ce qui se pr sente on peut toujours demander pourquoi la cho est telle qu'elle est? et la réponse à cette questio est ce qu'on nomme la raison suffisante, bien su posé qu'elle réponde effectivement à la questio qu'on aura faite. Donc, partout où la demand *pourquoi* peut avoir lieu, on y comprend la poss bilité d'une réponse satisfaisante, et qui en contie dra par conséquent la raison suffisante.

Il s'en faut beaucoup que ce soit un mystère q n'ait été découvert que de nos jours. De tout tem les hommes ont en toute occasion demandé *pou quoi*; ce qui est une preuve incontestable qu'ils o

reconnu que toutes les choses doivent avoir une raison suffisante pourquoi elles sont. C'était aussi un principe très-connu des anciens philosophes, que rien n'était sans cause. Mais malheureusement cette cause nous est le plus souvent cachée; nous avons beau demander pourquoi? il n'y a personne qui nous en indique la raison suffisante. Il n'est point douteux que tout n'ait sa raison suffisante; mais par là nous ne sommes guère avancés, tant que cette raison nous demeure inconnue.

V. A. pensera peut-être que les philosophes modernes, qui se vantent tant de ce principe de la raison suffisante, ont aussi découvert cette raison suffisante de toutes les choses, et qu'ils sont en état de répondre à tous les *pourquoi* qu'on leur pourrait demander; ce qui serait sans doute le plus grand degré de nos connaissances. Mais rien moins; ils sont à cet égard aussi ignorants que tous les autres: tout leur mérite, dont ils se vantent tant, ne consiste qu'en ce qu'ils prétendent avoir démontré que, partout où l'on peut demander *pourquoi*, il doit y avoir une réponse suffisante, quoiqu'elle nous soit cachée pour la plupart.

Ils conviennent bien que les anciens avaient aussi des connaissances de ce principe, mais que cette connaissance n'était que très-obscure, tandis qu'eux avaient mis ce principe dans tout son jour, et en avaient démontré la vérité : c'est la raison aussi qu'ils en savent tirer plus de profit, et que ce principe les met en état de prouver que les corps sont composés de monades.

Il faut, disent-ils, que les corps aient quelque part leur raison suffisante ; mais s'ils étaient divisibles à l'infini, aucune raison suffisante ne saurait avoir lieu : d'où ils concluent, d'un air très-philosophique, que puisque tout doit avoir sa raison suffisante, il faut absolument que tous les corps soient composés de monades. C'est ce qu'il fallait démontrer. Voilà, je l'avoue, une démonstration sans réplique.

Il serait bien à souhaiter qu'un raisonnement si léger fût capable de nous éclairer dans des questions si importantes ; mais pour moi, je dois avouer que je ne comprends absolument rien dans tout ce beau raisonnement. On parle de la raison suffisante des corps, par laquelle on veut répondre à un certain *pourquoi*, qu'on n'explique pas. Or, il faut sans doute toujours bien connaître et examiner une question, avant d'y répondre. Ici on donne la réponse avant d'avoir seulement formé la question.

Est-ce qu'on demande pourquoi les corps existent? Il serait, à mon avis, fort ridicule d'y répondre : Parce qu'ils sont composés de monades; comme si les monades renfermaient la cause de leur existence. Ce ne sont pas sans doute les monades qui ont créé les corps. Or, quand je demande pourquoi un être actuel existe, je ne vois d'autre réponse que de dire : Parce que le Créateur lui a donné l'existence. Et sur la manière dont la création s'est faite, je crois que les philosophes doivent franchement reconnaître leur ignorance.

Mais ils soutiennent que Dieu n'aurait pu produire des corps, à moins qu'il n'eût auparavant créé des

monades; et que les corps ont ensuite été formés par la composition des monades. Or, cela suppose ouvertement que les corps sont nécessairement composés de monades, ce qu'ils voudraient pourtant prouver par ce raisonnement. V. A. comprend aisément que quand on veut prouver quelque chose, on n'en doit pas supposer d'avance la vérité. C'est une supercherie, qu'on nomme dans la logique une *pétition de principe*.

LETTRE LXI.

(19 mai 1761.)

Autre argument des partisans des monades, tiré du principe de la raison suffisante : et sur les absurdités qui en découlent nécessairement.

Les partisans des monades tirent aussi leur grand argument du principe de la raison suffisante, de cette façon. Ils disent qu'ils ne sauraient pas même comprendre la possibilité des corps, s'ils étaient divisibles à l'infini, puisqu'il n'y aurait rien où ils pourraient fixer leur imagination ; ils voudraient avoir des parties dernières, ou des éléments de la composition desquels ils pourraient expliquer la formation des corps.

Mais prétendent-ils donc comprendre la possibilité de toutes les choses qui existent? cela serait sans doute trop orgueilleux. Cependant rien n'est plus commun parmi ces philosophes, que de raisonner sur ce pied-là : Je ne saurais comprendre la possibilité

de cette chose, à moins qu'elle ne soit telle que je l'imagine; donc, il faut nécessairement qu'elle soit telle.

V. A. comprendra aisément le frivole de cette manière de raisonner, et que la vérité demande des recherches plus profondes pour y arriver. Notre ignorance ne saurait jamais devenir un argument qui nous conduise à la connaissance de la vérité, et celui que je viens d'apporter est ouvertement fondé sur l'ignorance d'autres manières dont la chose pourrait être possible.

Mais à la bonne heure, si rien n'existait que ce dont ils peuvent comprendre la possibilité, pourraient-ils donc expliquer comment les corps seraient composés de monades? Les monades, n'ayant aucune étendue, doivent être considérées comme des points dans la géométrie, ou comme nous représentons les esprits et les âmes. Or, on sait que plusieurs points géométriques, quelque grand qu'on suppose leur nombre, ne sauraient jamais produire une ligne, et par conséquent encore moins une surface, ou même un corps. Si mille points suffisaient à constituer la millième partie d'un pouce, il faudrait que chacun eût une certaine étendue, qui, étant prise mille fois, deviendrait égale à la millième partie d'un pouce. Enfin, c'est une vérité incontestable, que tant de points qu'on voudra ne sauraient jamais produire la moindre étendue. Je parle ici des véritables points, tels qu'on les conçoit dans la géométrie, sans aucune longueur, largeur et épaisseur, et qui à cet égard sont absolument rien.

Aussi nos philosophes conviennent-ils qu'aucune étendue ne saurait être produite par des points géométriques, et ils protestent solennellement qu'on ne doit pas confondre leurs monades avec ces points. Elles n'ont pas plus d'étendue que les points, disent-ils; mais elles sont revêtues de qualités tout à fait admirables, comme de se représenter le monde tout entier par des idées, mais extrêmement obscures; et ce sont ces qualités qui les rendent propres à produire le phénomène de l'étendue, ou plutôt cette *quasi-étendue* dont j'ai parlé ci-dessus. On doit donc se former des monades la même idée que celle des esprits et des âmes; avec cette seule différence, que les facultés des monades sont beaucoup plus imparfaites.

Or, il me semble que la difficulté devient à présent beaucoup plus grande, et je me flatte que V. A. sera du même sentiment, que deux ou plusieurs esprits ne sauraient être joints pour former une étendue. Plusieurs esprits pourront bien former une assemblée, ou un conseil, mais jamais une étendue. En effet, si nous faisons abstraction du corps de chaque conseiller, lequel ne contribue rien aux délibérations, qui ne sont que les ouvrages des esprits, un conseil n'est autre chose qu'une assemblée d'esprits ou d'âmes; mais une telle assemblée pourrait-elle bien représenter une étendue? De là il s'ensuit que les monades sont encore moins propres à produire une étendue que les points géométriques.

Les monadistes ne sont aussi pas d'accord sur cet article. Quelques-uns disent que les monades sont

des parties actuelles des corps, et qu'après avoir divisé un corps aussi loin qu'il est possible, on parvient alors effectivement aux monades qui constituent ce corps.

D'autres nient absolument que les monades puissent être regardées comme les parties d'un corps, elles n'en contiennent que la raison suffisante : pendant que le corps se meut, les monades ne se meuvent point, mais elles contiennent la raison suffisante du mouvement. Enfin les monades ne sauraient se toucher les unes les autres ; ainsi, quand ma main touche un corps, aucune monade de ma main ne touche aucune monade du corps.

Qu'y a-t-il donc, demandera V. A., qui se touche dans cet attouchement, si ce ne sont pas les monades qui renferment toute la réalité tant de ma main que du corps ? Il ne reste d'autre réponse, que ce sont deux riens qui se touchent l'un l'autre ; ou plutôt on nie qu'il y ait un attouchement réel. Ce n'est qu'une illusion destituée de toute réalité. Ils sont obligés de dire la même chose de tous les corps, qui, selon ces philosophes, ne sont que des fantômes que notre esprit se forme, en se représentant très-confusément les monades qui contiennent la raison suffisante de tout ce que nous nommons corps.

Dans cette philosophie tout est esprit, fantôme et illusion ; et quand nous autres ne pouvons pas comprendre ces mystères, c'est notre stupidité qui nous tient attachés aux notions grossières du peuple.

Le plus singulier ici est, que ces philosophes, dans le dessein d'approfondir et d'expliquer la na-

ture des corps et de l'étendue, sont enfin parvenus à nier l'existence des corps et de l'étendue. C'est sans doute le plus sûr moyen de réussir dans l'explication des phénomènes de la nature ; on n'a qu'à les nier, et en alléguer pour preuve le principe de la raison suffisante. Voilà à quelle extravagance les philosophes sont capables de se livrer, plutôt que d'avouer leur ignorance.

LETTRE LXII.

(23 mai 1761.)

Réflexions plus détaillées sur le système des monades.

Ce serait cependant bien dommage si cet ingénieux système des monades tombait en ruine. Il a trop fait de bruit, et a coûté à ses partisans trop de sublimes et profondes spéculations, pour pouvoir s'oublier tout à fait. Il restera toujours un monument remarquable des égarements où peuvent tomber les esprits des philosophes. Il vaudra donc bien la peine d'en donner à V. A. une description plus détaillée.

D'abord il faut bannir de nos esprits tout ce qui est corporel, toute étendue, tout mouvement, tout temps et tout espace, puisque tout cela n'est qu'illusion. Il n'existe au monde que des monades, dont le nombre est sans doute prodigieux. Aucune monade ne se trouve dans une liaison avec les autres ;

et il est démontré, par le principe de la raison suffisante, que les monades ne sauraient en aucune manière agir les unes sur les autres. Elles sont bien revêtues de forces, mais de forces qui ne se déploient qu'en elles-mêmes, sans avoir la moindre influence sur les autres.

Ces forces, dont chaque monade est douée, ne tendent qu'à changer continuellement leur propre état, et elles consistent dans la représentation de toutes les autres monades. Par exemple, mon âme est une monade, et elle renferme dans son fond les idées de l'état de toutes les autres monades. Ces idées sont pour la plupart très-obscures, mais les forces de mon âme sont continuellement occupées à éclaircir mieux ces idées obscures, et à les porter à un plus haut degré de clarté. Les autres monades sont à cet égard assez semblables à mon âme; chacune est remplie d'une prodigieuse quantité d'idées obscures de toutes les autres monades et de leur état; et elles travaillent continuellement, avec plus ou moins de succès, à développer successivement ces idées, et à les porter à un plus haut degré de clarté.

Celles des monades qui ont mieux réussi que moi sont des esprits plus parfaits, mais la plupart croupissent encore dans la plus grande obscurité de leurs idées; et ce sont celles-ci, lorsqu'elles font l'objet des idées de mon âme, qui y occasionnent l'idée illusoire et chimérique de l'étendue et des corps. Toutes les fois que mon âme pense à des corps et au mouvement, c'est une marque qu'il y a une

grande quantité d'autres monades qui sont encore ensevelies dans leur obscurité; c'est encore alors, quand je pense à ces pauvres monades, que mon âme se forme une idée de quelque étendue, qui n'est par conséquent qu'une pure illusion.

Plus il y a de ces monades malheureuses plongées dans l'abîme de l'obscurité de leurs idées, plus mon âme est éblouie par l'idée de l'étendue; mais quand ces mêmes monades parviennent successivement à éclaircir leurs idées obscures, il me semble que l'étendue diminue; ce qui occasionne dans mon âme l'idée illusoire du mouvement.

V. A. demandera sans doute comment mon âme s'aperçoit que les monades réussissent à développer leurs idées obscures, attendu qu'il n'y a aucune liaison entre moi et les autres monades? Là-dessus les monadistes sont prêts à répondre que cela arrive conformément à la plus parfaite harmonie que le Créateur (qui n'est lui-même qu'une monade : je rougis de le dire!) a établie parmi toutes les monades, par laquelle chacune s'aperçoit en soi-même, comme dans un miroir, de tous les développements qui se font dans les autres, sans qu'aucune liaison ait lieu entre elles.

On pourrait donc espérer qu'enfin toutes les monades deviendraient assez heureuses pour éclaircir leurs idées obscures, et alors nous perdrions toutes les idées des corps et des mouvements; et toute illusion, qui ne vient que de l'obscurité des idées, cesserait entièrement.

Mais il y a peu d'apparence de parvenir à cet état

heureux ; la plupart des monades, quand elles sont une fois parvenues à développer leurs idées obscures, y retombent subitement. Quand je suis enfermé dans ma chambre, je ne m'aperçois que d'une petite étendue ; c'est parce qu'alors plusieurs monades ont développé leurs idées : mais dès que je sors, et que je contemple l'immense étendue du ciel, il faut que toutes ces monades soient retombées dans leur état d'engourdissement.

Ensuite il n'y a point de lieu ni de mouvement, tout cela n'étant qu'illusion ; mon âme reste presque toujours au même endroit, de même que toutes les autres monades. Mais quand mon âme commence à éclaircir quelques idées qui n'étaient qu'obscures auparavant, alors il me semble que je m'approche de l'objet que ces idées me représentent, ou plutôt de celui que les monades de cette idée excitent dans moi : et c'est la véritable explication du phénomène, quand il nous semble que nous nous approchons de certains objets.

Or, il n'arrive que trop souvent que les éclaircissements acquis se perdent de nouveau ; alors il nous semble que nous nous éloignons du même objet. C'est ici qu'il faut chercher le véritable dénoûment de tous nos voyages. Par exemple, mon idée de la ville de Magdebourg est occasionnée par certaines monades dont je n'ai actuellement que des idées assez obscures ; c'est aussi la raison pourquoi il me semble que je suis éloigné de Magdebourg. L'année passée, ces mêmes idées se sont subitement développées, et alors je me suis imaginé que je voyageais à

Magdebourg, et que j'y étais pendant quelques jours. Cependant tout ce voyage n'était qu'illusion, car mon âme ne bouge pas de sa place. C'est aussi en vain que V. A. s'imagine être absente de Berlin, ce n'est qu'une illusion : la véritable raison est, qu'il y a certaines monades dont la représentation confuse excite l'idée de Berlin, et que cette idée est fort obscure. V. A. n'a qu'à éclaircir cette même idée, et elle sera dans le moment à Berlin. Il ne faut que cela; tout ce que nous nommons voyage, et qui coûte tant d'argent, n'est que pure illusion. Voilà le véritable plan du système des monades.

Mais V. A. me demandera s'il est bien possible qu'il y ait des gens de bon sens qui soutiennent sérieusement ces extravagances? Sur quoi j'ai l'honneur de répondre qu'il n'y en a que trop, que j'en connais beaucoup; qu'il y en a à Berlin, et peut-être aussi à Magdebourg. Je crains que V. A. n'en soit très-indignée.

LETTRE LXIII.

(26 mai 1761.)

Continuation.

Le système des monades, tel que je viens de le décrire à V. A., est une suite nécessaire du principe que les corps sont composés d'êtres simples. Dès qu'on admet ce principe, on est obligé de reconnaître la justesse de toutes les autres conséquen-

ces, qui en découlent si naturellement, qu'on n'en saurait plus rejeter aucune, quelque absurde et choquante qu'elle puisse être.

D'abord ces êtres simples qui doivent composer les corps sont des monades qui, n'ayant point d'étendue, leurs composés, ou les corps, n'en sauraient avoir non plus; et toutes ces étendues se changent en illusions et chimères, puisqu'il est certain que des parties qui n'ont aucune étendue ne sauraient produire une étendue véritable; ce ne sera tout au plus qu'une apparence ou un fantôme qui nous éblouit par une idée trompeuse d'étendue. Enfin tout devient illusion, et c'est sur cette illusion qu'est établi le système de l'harmonie préétablie, dont j'ai déjà eu l'honneur de faire sentir à V. A. les conséquences fâcheuses.

Il faut donc être bien sur ses gardes, pour ne pas se laisser entraîner dans ce labyrinthe rempli d'absurdités. Dès qu'on y a fait le premier pas, il n'y a plus moyen d'échapper. Tout dépend des premières idées qu'on se forme de l'étendue, et la manière dont les monadistes tâchent d'établir leur système est extrêmement séduisante.

Ces philosophes n'aiment pas à parler de l'étendue des corps, puisqu'ils prévoient bien qu'elle leur deviendrait fatale dans la suite. Au lieu donc de dire que les corps sont étendus, ils disent que les corps sont des êtres composés; ce qu'on ne saurait leur nier, puisque l'étendue suppose nécessairement la divisibilité, et par conséquent un amas de parties dont les corps sont composés. Mais ils abusent bien-

tôt de cette notion d'un être composé; car ils disent qu'un être ne saurait être composé qu'en tant qu'il est composé d'êtres simples : et de là ils concluent que tout corps est composé d'êtres simples. Aussitôt qu'on leur accorde cette conclusion, on est pris, et on ne saurait plus reculer, attendu qu'on est forcé d'avouer que ces êtres simples, n'étant plus composés, ne sont pas étendus.

Cet argument captieux est très-dangereux pour nous séduire; dès qu'on s'en laisse éblouir, on leur accorde tout ce qu'ils veulent. Il ne faut qu'admettre cette proposition, que les corps sont composés d'êtres simples, c'est-à-dire, de parties qui ne sont pas étendues; et l'on est tout à fait enveloppé. Il faut donc résister de toutes ses forces à cet argument, que tout être composé est composé d'êtres simples; et quand même on n'en saurait prouver la fausseté directement, les conséquences absurdes qui en découlent d'abord suffiraient à le renverser.

En effet, d'abord on convient que les corps sont étendus, c'est de là que les monadistes partent pour établir que les corps sont des êtres composés : or, après avoir déduit que les corps sont composés d'êtres simples, ils sont obligés d'avouer que les êtres simples ne sauraient produire une véritable étendue, et par conséquent que l'étendue des corps n'est qu'une illusion.

Voilà un argument bien étrange, où la conclusion est directement contraire aux prémisses : ce raisonnement commence à dire que les corps sont véritablement étendus; car s'ils ne l'étaient pas, com-

ment pourrait-on savoir qu'ils soient des êtres composés ? et bientôt après ils concluent que les corps ne sont pas véritablement étendus. A mon avis, jamais un faux argument n'a été mieux réfuté que celui-ci : la question était, *pourquoi les corps sont étendus ?* et après quelque détour on donne cette réponse, *puisqu'ils ne sont pas étendus*. Si l'on me demandait pourquoi un triangle a trois côtés, et que j'y réponde que ce n'était qu'une illusion qu'un triangle ait trois côtés, serait-on content de ma réponse ?

Ainsi, il est très-certain que cette proposition, que tout être composé est nécessairement composé d'êtres simples, porte à faux, quelque fondée qu'elle puisse paraître aux partisans des monades, qui prétendent même la ranger parmi les axiomes ou les premiers principes de nos connaissances. La seule absurdité à laquelle elle conduit immédiatement suffit pour la détruire, quand même on n'aurait point d'autres raisons d'en douter.

Mais puisqu'ici un être composé signifie la même chose qu'un être étendu, il en est de même que si l'on disait : Tout être étendu est composé d'êtres qui ne sont pas étendus. Or, c'est précisément la question. On demande si, en divisant un corps, on parvient enfin à des parties qui ne sont plus susceptibles d'une division ultérieure, faute d'étendue ? ou si l'on ne parvient jamais à de telles particules, de sorte que la divisibilité n'ait pas de bornes ?

Pour décider cette question importante, on suppose gratuitement que chaque corps est composé de

telles parties qui n'ont aucune étendue. On se sert bien de quelques arguments éblouissants tirés du fameux principe de la raison suffisante, et l'on dit qu'un être composé ne saurait avoir sa raison suffisante que dans les êtres simples dont il est composé : ce qui pourrait bien être vrai, si l'être composé était effectivement composé d'êtres simples, ce qu'on leur conteste. Mais dès qu'on nie la composition d'êtres simples, la raison suffisante n'y saurait être établie.

Mais, madame, il est fort dangereux de s'engager avec les gens qui croient aux monades; car, outre qu'on n'y gagne rien, ils crient cruellement qu'on attaque le principe de la raison suffisante, ce qui est pourtant la base de toute certitude, et même de l'existence de Dieu. Selon leur avis, tous ceux qui n'admettent pas les monades, et qui rejettent le magnifique bâtiment où tout n'est qu'illusion, sont des incrédules et même des athées. Or, j'espère que cette imputation frivole ne fera pas la moindre impression sur l'esprit de V. A.; les extravagances auxquelles on est obligé de se livrer en embrassant le système des monades sont trop choquantes pour qu'on ait besoin de les réfuter en détail. Tout leur fondement se réduit à un misérable abus du principe de la raison suffisante.

LETTRE LXIV.

(30 mai 1761.)

Fin des réflexions sur le système des monades.

Ou il faut reconnaître la divisibilité des corps l'infini, ou il faut admettre le système des monade avec toutes les extravagances qui en découlent; n'y a point d'autre parti à prendre. Cette alternativ fournit encore aux monadistes un terrible argumen pour soutenir leur cause.

Ils prétendent que par la divisibilité à l'infini o serait obligé d'accorder aux corps une qualité infini pendant qu'il est certain que rien n'est infini qu Dieu seul.

Les monadistes sont des gens bien dangereu tout à l'heure ils nous accusaient d'athéisme, e maintenant ils nous reprochent l'idolâtrie, et disen que nous attribuons à chaque corps des perfection infinies. Nous serions à cet égard bien pires que le païens, qui n'adoraient que quelques idoles, pendan que nous honorerions tous les corps comme des di vinités. Ce serait sans doute le plus terrible repro che, s'il était tant soit peu fondé; et j'aimerais mieu embrasser le système des monades avec toutes le chimères et les illusions qui en sont les suites né cessaires, que de me déclarer pour la divisibilité l'infini, si une si grande impiété y était attachée.

V. A. conviendra que c'est une vilaine manière de disputer, que de reprocher à ses adversaires l'athéisme et l'idolâtrie. Mais en quoi consiste donc cette divine infinité que nous attribuons aux corps? Est-ce qu'ils sont infiniment puissants, infiniment sages, infiniment bons, ou infiniment heureux? Rien de tout cela; nous ne disons autre chose, sinon qu'en divisant les corps, quelque loin qu'on pousse la division, il sera toujours possible de la continuer au delà, et qu'on ne viendra jamais à des particules telles, qui ne seraient plus susceptibles de division. Cette propriété pourrait être aussi énoncée, en disant que la divisibilité des corps n'a point de *limites;* et c'est bien mal à propos qu'on lui donne le nom *infinité*, qui ne saurait avoir lieu qu'en Dieu.

Premièrement, je remarque que le seul nom d'infini n'est pas si dangereux que ces philosophes s'imaginent. Si l'on disait, par exemple, infiniment méchant, ce serait même infiniment éloigné des perfections de Dieu.

Ensuite ces mêmes philosophes conviennent que nos âmes ne finiront jamais; ou ils reconnaissent une infinité dans la durée de l'âme, sans que cette infinité porte la moindre atteinte aux perfections infinies de Dieu. Aussi quand on leur demande si le monde est borné ou non par rapport à l'étendue, ils sont fort indécis sur cette question. Quelques-uns avouent franchement que l'étendue du monde pourrait bien être infinie; de sorte qu'on n'arriverait jamais au bout du monde, quelque loin qu'on se por-

terait dans les pensées : voilà donc encore une infinité qu'ils ne jugent pas hérétique.

A plus forte raison, la divisibilité à l'infini ne doit leur causer aucun ombrage. Être divisible à l'infini n'est pas certainement un attribut qu'on se soit jamais avisé de reconnaître dans l'Être suprême ; et la divisibilité à l'infini n'ajoute pas assurément aux corps un degré de perfection, qui ne serait pas beaucoup au-dessous de celle que ces mêmes philosophes tâchent de mettre dans les corps, en les composant de leurs monades, qui, selon eux, sont des êtres doués des qualités les plus éminentes ; de sorte qu'ils ne rougissent pas de donner à Dieu le nom de monade.

En effet, l'idée d'une division qui peut toujours être continuée plus loin, sans jamais être arrêtée, renferme si peu le divin, qu'elle met plutôt les corps dans un rang infiniment au-dessous de celui que les esprits et nos âmes occupent ; et on peut bien dire qu'une âme, dans son essence, vaut beaucoup plus que tous les corps au monde. Or, dans le système des monadistes chaque corps, et même le plus chétif, est composé d'un grand nombre de monades, dont chacune dans sa manière ressemble beaucoup à nos âmes. Toutes les monades se représentent le monde entier aussi bien que nos âmes ; mais, disent-ils, ces monades n'en ont que des idées très-obscures, pendant que nous avons déjà des idées claires, et quelquefois aussi distinctes.

Cependant qui les assure de cette différence ? Ne serait-il pas à craindre que les monades qui com-

posent cette plume avec laquelle j'écris eussent des idées du monde beaucoup plus claires que mon âme? Et comment puis-je être assuré du contraire? Je devrais avoir honte de me servir de cette plume pour écrire mes faibles pensées, pendant que les monades dont cette plume est composée ont peut-être des pensées beaucoup plus sublimes; et V. A. serait peut-être plus satisfaite, si ma plume marquait plutôt ses propres pensées sur ce papier que les miennes.

Mais dans le système des monades cela n'est pas nécessaire; l'âme de V. A. se représente déjà par sa propre force toutes ces sublimes idées de ma plume, mais d'une manière très-obscure; aussi tout ce que je prends la liberté d'écrire ici ne contribue absolument rien à éclaircir V. A. Les monadistes ont démontré que les êtres simples ne sauraient avoir la moindre influence les uns sur les autres; et l'âme de V. A. développe de son propre fonds tout ce que je m'imagine de lui proposer, sans que j'y contribue la moindre chose.

Tous les discours, avec la lecture et l'écriture, ne sont que des formalités chimériques et trompeuses, qu'une pure illusion nous fait regarder comme des moyens propres à étendre nos connaissances. Mais j'ai eu l'honneur d'entretenir V. A. sur ces suites admirables du système de l'harmonie préétablie, et j'aurais lieu de craindre que ces rêveries ne lui devinssent *ennuyantes*, quoiqu'il y ait quantité de gens, d'ailleurs assez éclairés, qui regardent le système des monades avec celui de l'harmonie

préétablie, qui n'en est qu'une suite nécessaire, comme le chef-d'œuvre de la force de l'esprit humain, et qui ne sauraient y penser qu'avec un très-grand et très-profond respect.

Je me flatte avoir suffisamment muni l'esprit de V. A. contre toutes ces chimères, quelque séduisantes qu'elles puissent paraître; mais je serais bien fâché si par là j'eusse inspiré à V. A. une mauvaise opinion contre une grande partie des philosophes de nos jours. La plupart sont très-innocents, et demeurent attachés au système par lequel ils se sont laissé éblouir une fois, sans se soucier des conséquences bizarres qui en découlent nécessairement.

TROISIÈME PARTIE.

LETTRE PREMIÈRE.

(2 juin 1761.)

Éclaircissements sur la nature des couleurs.

Je ne saurais disconvenir que les pensées sur les couleurs, que j'ai eu autrefois l'honneur de présenter à V. A. (1), sont encore fort éloignées du degré d'évidence auquel j'aurais souhaité les pouvoir porter. Cette matière a été de tout temps l'écueil des philosophes, et je ne saurais me flatter d'en lever toutes les difficultés. Cependant j'espère que les éclaircissements que je vais exposer en feront évanouir une bonne partie.

Les anciens philosophes ont rapporté les couleurs parmi les qualités des corps dont nous ne connaissons que les noms. Quand on leur demandait pourquoi un tel corps était, par exemple, rouge, ils répondaient que cela arrivait par une qualité qui faisait que ce corps paraissait rouge. V. A. comprend aisément que par cette raison on n'est guère avancé,

(1) Lettres XXVII, XXVIII et XXXI de la Ire partie, tome Ier.

et qu'il aurait autant valu avouer franchement son ignorance sur cette question.

Descartes, qui le premier eut le courage d'approfondir les mystères de la nature, attribua les couleurs à un certain mélange de lumière et d'ombre. Or l'ombre n'étant autre chose qu'un défaut de lumière, puisque l'ombre se trouve toujours où la lumière ne saurait pénétrer, on voit bien que la lumière mêlée avec un défaut de lumière ne saurait produire les différentes couleurs que nous observons dans les corps.

Comme nous savons que nous ne voyons rien que moyennant des rayons qui entrent dans nos yeux, il faut bien que les rayons qui excitent dans nos yeux le sentiment de la couleur rouge soient d'une autre nature que ceux qui y excitent la sensation des autres couleurs; et de là on comprend aisément que chaque couleur est attachée à une certaine qualité des rayons dont le sens de la vue est frappé. Un corps nous paraît, par exemple, rouge, lorsque les rayons qui en sont lancés sont de telle nature qu'ils excitent dans nos yeux la sensation de la couleur rouge.

Tout revient donc à approfondir cette différence entre les rayons, qui fait que les uns excitent la sensation de la couleur rouge, et les autres celle des autres couleurs. Il doit donc y avoir une grande différence parmi les rayons, pour produire de si différentes sensations dans nos yeux. Mais en quoi cette différence pourrait-elle consister? Voilà la grande question à laquelle se réduit toute notre recherche.

La première différence qui s'offre entre les rayons, est que les uns sont plus forts que les autres. Il n'y a aucun doute que les rayons du soleil, ou d'un autre corps fort brillant ou fort éclairé, ne soient beaucoup plus forts que ceux qui viennent d'un corps peu éclairé, ou doué d'une lumière très-faible; nos yeux en sont sans doute frappés fort différemment.

De là on pourrait soupçonner que les diverses couleurs résultent de la force des rayons ; de sorte que les rayons les plus forts produisent, par exemple, la couleur rouge; les moins forts, la couleur jaune, et ensuite les couleurs verte et bleue.

Mais rien n'est plus aisé que de renverser ce sentiment, puisque nous savons par l'expérience que le même corps paraît toujours de la même couleur, soit qu'il soit plus ou moins éclairé, ou que les rayons en soient forts ou faibles. Un corps rouge, par exemple, paraît aussi bien rouge, soit qu'il soit exposé au plus grand éclat du soleil, ou qu'il se trouve dans un lieu obscur, où les rayons sont certainement très-faibles. Ce n'est donc pas dans les différents degrés de force des rayons qu'il faut chercher la cause des différentes couleurs; et la même couleur peut aussi bien être représentée par des rayons très-forts que par des rayons très-faibles. La moindre lueur nous découvre aussi bien la différence entre les couleurs que le plus grand éclat de clarté.

Il faut donc absolument qu'il se trouve encore une autre différence, parmi les rayons, qui caracté-

rise leur nature par rapport aux diverses couleurs. Or, pour découvrir cette différence, V. A. jugera sans doute qu'il vaut mieux connaître la nature et l'origine des rayons, ou bien ce qui est capable d'entrer dans nos yeux et d'y exciter la sensation de la vision; cette description ou définition d'un rayon est sans doute la plus juste, puisqu'en effet un rayon n'est autre chose que ce qui entre par la pupille, comme je viens de le dire, dans l'œil, et y excite la sensation.

J'ai déjà eu l'honneur de dire à V. A. qu'il n'y a que deux systèmes ou théories pour expliquer l'origine et la nature des rayons. L'un est celui de Newton, qui soutient que les rayons sont des émanations actuelles qui sortent du soleil et des autres corps luisants; et l'autre, celui que j'ai tâché de prouver à V. A., et dont on me regarde comme l'auteur, quoique d'autres avant moi aient eu à peu près les mêmes idées. Peut-être ai-je réussi à le porter à un plus haut degré d'évidence. Il sera donc bon de montrer dans l'un et l'autre système sur quel principe on pourrait fonder la différence entre les couleurs.

Dans le système de l'émanation actuelle, où les rayons sont supposés sortir des corps luisants en forme de jet d'eau, qui en sont dardés en tous sens, on veut que les particules lancées diffèrent ou en grosseur ou en matière, de la même manière qu'un jet d'eau pourrait lancer du vin, de l'huile et d'autres liqueurs; de sorte que les différentes couleurs soient causées par la diverse matière subtile qui

est lancée du corps lumineux. Ainsi, une certaine matière subtile lancée d'un corps lumineux serait la couleur rouge, une autre matière la couleur jaune, et ainsi des autres couleurs. Cette explication montrerait assez clairement l'origine des diverses couleurs, si le système même pouvait subsister. L'ordinaire prochain, j'aurai l'honneur d'en parler plus amplement à V. A.

LETTRE II.

(6 juin 1761.)

Réflexions sur l'analogie entre les couleurs et les sons.

V. A. se souviendra bien encore des arguments dont je me suis servi pour combattre le système de l'émanation actuelle de la lumière (1), qui me paraissaient si forts, qu'on ne saurait plus admettre ce système dans la physique. Aussi en ai-je convaincu plusieurs grands physiciens, qui ont embrassé mon sentiment avec la plus grande satisfaction.

Les rayons de lumière ne sont donc point une émanation actuelle du soleil et d'autres corps luisants, et ils ne consistent pas dans une matière subtile qui soit lancée du soleil, et qui parvienne jusqu'à nous avec cette terrible rapidité dont V. A.

(1) *Voyez* les lettres XVII, XVIII et XIX de la Ire partie, tome I, et la note jointe à la lettre XIX.

a eu raison d'être surprise. Ce serait sans doute un terrible torrent, si les rayons parvenaient du soleil jusqu'à nous en moins de huit minutes de temps; et le corps du soleil, quelque grand qu'il soit, en serait bientôt épuisé.

Selon mon système, les rayons du soleil, que nous sentons ici, n'ont jamais été dans le soleil; ce ne sont que les particules de l'éther, qui se trouvent dans nos environs, mais qui sont mises dans une agitation de vibration qui leur est communiquée par une semblable agitation du soleil même, sans qu'elles changent sensiblement de place.

Cette propagation de lumière se fait d'une manière semblable à celle dont le son provient des corps sonores. Quand V. A. entend le bruit d'une cloche, ce n'est pas que la cloche lance des particules qui entrent dans les oreilles. On n'a qu'à toucher une cloche quand elle est frappée, pour s'assurer que toutes ses parties sont agitées d'un frémissement très-sensible. Cette agitation se communique d'abord aux particules de l'air plus éloignées; de sorte que toutes les particules de l'air en reçoivent successivement un frémissement semblable, lequel entrant dans l'oreille y excite le sentiment d'un son. Les cordes, dans un instrument de musique, ne laissent là-dessus aucun doute; on les voit trembler, ou aller et revenir, et on peut même déterminer par le calcul combien de fois chaque corde tremble pendant une seconde: et puisqu'une semblable agitation est communiquée aux particules de l'air, qui sont voisines de l'organe de l'ouïe, no-

tre oreille en est frappée précisément autant de fois pendant une seconde; et c'est la perception de ce frémissement qui constitue la nature du son que nous apercevons. Plus le nombre des vibrations que la corde achève dans une seconde est grand, et plus le son est haut et aigu, pendant que des vibrations moins fréquentes produisent des sons bas et graves.

Toutes ces circonstances, qui accompagnent la sensation de l'ouïe, se trouvent d'une manière tout à fait analogue dans la sensation de la vue. Il n'y a que le milieu et la rapidité des vibrations qui soient différents. A l'égard du son, c'est l'air à travers duquel les vibrations des corps sonores sont transmises; mais à l'égard de la lumière, c'est l'éther, ou ce milieu incomparablement plus subtil et plus élastique que l'air, qui se trouve répandu partout où l'air et les corps grossiers laissent des interstices.

Donc, toutes les fois que cet éther est mis dans un frémissement ou trémoussement, et qu'il est transmis dans un œil, il y excite le sentiment de la vision, qui n'est alors autre chose qu'un semblable trémoussement, dont les moindres fibrilles nerveuses au fond de l'œil sont agitées.

V. A. comprendra aisément que la sensation doit être différente, selon que ce trémoussement est plus ou moins fréquent, ou selon que le nombre des vibrations, qui se font dans une seconde, est plus ou moins grand. Il doit en résulter une différence semblable à celle qui se fait dans les sons, lorsque les vibrations rendues dans une seconde sont plus

ou moins fréquentes. Cette différence est très-sensible à notre oreille, puisque le grave et l'aigu dans les sons en dépend. V. A. se souviendra que le son marqué C dans le clavecin achève environ 100 vibrations dans une seconde; que le son D en fait 112; le son E, 125; le son F, 133; le son G, 150; le son A, 166; le son H, 187; et le son *c*, 200. C'est ainsi que la différente nature des sons dépend du nombre des vibrations qui s'achèvent par seconde.

Il n'y a donc aucun doute que le sens de la vue ne soit aussi différemment affecté, selon que le nombre des vibrations, dont les fibrilles nerveuses dans le fond de l'œil sont excitées, est plus ou moins grand. Quand ces fibrilles frémissent 1000 fois dans une seconde, la sensation doit être tout autre que si elles frémissaient 1200 ou 1500 fois dans le même temps.

Il est bien vrai que notre organe de vue n'est pas en état de compter ces grands nombres, moins encore que notre oreille ne compterait pas les vibrations qui constituent les sons; mais toujours nous pouvons fort bien distinguer le plus et le moins.

C'est donc dans cette différence qu'il faut chercher la cause des diverses couleurs; et il est certain que chaque couleur répond à un certain nombre de vibrations dont les fibrilles de nos yeux sont frappées dans une seconde, quoique nous ne soyons pas encore en état de déterminer le nombre qui convient à chaque couleur, comme nous le sommes à l'égard des sons.

Il a fait bien des recherches pour parvenir à

connaître les nombres qui répondent à tous les sons du clavecin, quoiqu'on fût déjà convaincu que la différence entre ces sons est fondée sur la diversité de ces nombres. Nous devons donc être contents de savoir que la diversité des couleurs est fondée sur les divers nombres de vibrations qui se trouvent dans les rayons, et notre connaissance est toujours assez avancée, parce que nous savons qu'il règne une si belle ressemblance entre les divers sons du clavecin et les diverses couleurs.

En général, on voit une si admirable analogie entre les objets de notre ouïe et ceux de notre vue, que les circonstances de l'une servent à éclaircir celles de l'autre. C'est aussi cette analogie qui fournit les preuves les plus convaincantes pour établir mon système. Mais j'aurai l'honneur d'appuyer en particulier mon sentiment sur les couleurs par des raisons encore plus solides, qui le mettront à l'abri de tous les doutes.

LETTRE III.

(9 juin 1761.)

Suite de ces réflexions.

Rien n'est plus propre à nous éclaircir sur la nature de la vision, que la belle analogie qu'on découvre presque partout entre elle et l'ouïe. Ce que sont par rapport à l'ouïe les divers sons dans la musique, les diverses couleurs le sont par rapport

à la vue. Les diverses couleurs diffèrent entre elles d'une manière semblable à celle dont les sons graves et aigus diffèrent entre eux. Or, nous savons que le grave et l'aigu dans les sons dépendent du nombre des vibrations dont l'organe de l'ouïe est frappé pendant un certain temps, et que la nature de chaque son est déterminée par un certain nombre qui marque les vibrations rendues dans une seconde : d'où je conclus que chaque couleur est aussi astreinte à un certain nombre de vibrations qui agissent sur l'organe de la vision.

Il n'y a que cette différence que les vibrations qui produisent les sons résident dans l'air grossier, pendant que celles de la lumière et des couleurs sont transmises par un milieu incomparablement plus subtil et plus élastique que celui de l'air. Il en est de même des objets de l'un et de l'autre sens. Ceux de l'ouïe sont tous les corps propres à rendre des sons, c'est-à-dire, ceux qui sont susceptibles d'un mouvement de vibration ou de trémoussement, lequel, se communiquant à l'air, excite ensuite dans notre organe le sentiment d'un certain son qui convient à la rapidité des vibrations.

Tels sont les instruments de musique; et, pour m'arrêter principalement au clavecin, on attribue à chaque corde un certain son, qu'elle rend étant frappée. Ainsi une corde est nommée du son C, une autre du son D, et ainsi de suite. Une corde est dite être C, lorsque sa tension et sa structure est telle, qu'étant frappée elle rend environ 100 vibrations par seconde; et si elle rendait plus ou moins

de vibrations dans le même temps, elle aurait le nom d'un autre son plus aigu ou plus grave.

V. A. se souviendra que le son d'une corde dépend de ces trois choses : 1° de sa longueur, 2° de son épaisseur, 3° de la force dont elle est tendue; et plus elle est tendue, plus le son devient aigu. Aussi, tant qu'une corde conserve cette même disposition, elle conserve aussi le même son; mais dès qu'elle souffre quelque changement, elle change aussi de son.

Appliquons tout ceci aux corps en tant qu'ils sont des objets de notre vue. Les moindres particules qui composent le tissu de leur surface peuvent être regardées comme des cordes tendues, en tant qu'elles sont douées d'un certain degré de ressort et de masse; de sorte qu'étant convenablement frappées, elles en reçoivent un mouvement de vibration, dont elles achèveront un certain nombre dans une seconde; et c'est aussi de ce nombre que dépend la couleur que nous attribuons à ce corps.

De là un corps est rouge lorsque les particules de sa surface ont une telle tension, qu'étant ébranlées elles rendent précisément autant de vibrations dans une seconde, qu'il en faut pour exciter en nous le sentiment de la couleur rouge. Un autre degré de tension qui produirait des vibrations plus ou moins rapides exciterait aussi le sentiment d'une autre couleur, et le corps serait alors ou jaune, ou vert, ou bleu, etc.

Nous ne sommes pas encore parvenus à pouvoir assigner à chaque couleur le nombre de vibrations

qui en constituent l'essence, et nous ne savons pas même quelles sont les couleurs qui demandent une plus grande ou une plus petite rapidité dans le mouvement des vibrations; ou bien, il n'est pas encore décidé quelles couleurs répondent aux sons graves et aux sons aigus. Mais il suffit de savoir que chaque couleur est attachée à un certain nombre de vibrations, quoique ce nombre nous soit inconnu, et qu'on n'a qu'à changer la tension ou le ressort des moindres particules qui tapissent la surface d'un corps, pour lui faire changer aussi de couleur.

C'est ainsi que nous voyons que les plus belles couleurs des fleurs changent bientôt et s'évanouissent; et la raison s'en trouve évidemment dans le défaut du suc nourricier, d'où les moindres particules perdent leur vigueur ou leur tension. Une semblable cause s'observe aussi dans tous les autres changements des couleurs.

Pour mettre cela dans un plus grand jour, supposons que le sentiment de la couleur rouge demande une telle rapidité dans le mouvement des vibrations, que 1000 s'achèvent dans une seconde, que l'orange en exige 1125, le jaune 1250, le vert 1333, le bleu 1500, et le violet 1666 : car, quoique ces nombres soient sans doute faux, cela ne fait rien à mon dessein. Tout ce que je dirai de ces faux nombres se pourra dire de la même manière des nombres véritables, quand ils seront peut-être un jour connus.

Cela posé, un corps sera rouge lorsque les moindres particules de sa surface se trouvent dans une

telle disposition, qu'étant mises en vibration elles en achèvent 1000 par seconde; un autre corps sera orange lorsque ses particules seront disposées à rendre 1125 vibrations par seconde : et ainsi de suite. De là on comprend qu'il y a une infinité de couleurs moyennes entre les six couleurs principales que je viens de rapporter; et de là on voit aussi que si un corps était tel, que ses particules étant ébranlées rendraient 1400 vibrations par seconde, ce corps aurait une couleur moyenne entre le vert et le bleu, puisque le vert répond au nombre 1333, et le bleu au nombre 1500.

De cette manière notre connaissance sur les couleurs est incomparablement plus parfaite que celle du peuple, et même des philosophes, dont ceux qui se vantent être les plus clairvoyants se sont égarés jusqu'à envisager les couleurs comme de pures illusions, en leur refusant toute réalité (1).

(1) Nous avons déjà annoncé (note sur la lettre XIX, I[re] partie, t. I, p. 80) que les découvertes modernes confirment les idées d'Euler sur l'inégalité de durée des vibrations lumineuses, correspondantes aux diverses couleurs du spectre solaire. Mais les nombres, choisis par Euler pour fixer les idées, sont hors de toute proportion avec les nombres véritables. Au moyen des phénomènes d'interférence dont il est question dans la note citée, on a pu mesurer avec précision, quoique d'une manière indirecte, les longueurs d'ondulations correspondantes aux diverses couleurs du spectre, c'est-à-dire l'intervalle qui sépare, sur le trajet d'un rayon lumineux, deux particules d'éther qui se trouvent dans la même phase de leur mouvement vibratoire; et comme la longueur d'une onde n'est autre chose que l'espace décrit par la lumière pendant la durée d'une vibration, il suffit

de comparer les longueurs d'ondulations à la vitesse de la lun (t. I, p. 8), pour déterminer approximativement le nombre vibrations dans un temps donné. C'est ainsi qu'on a cons le tableau suivant :

Couleurs principales.	Longueur des ondes dans l'air, en millionièmes de millimètre.	Nombre des vibrations par millionième de seconde.
Violet......	423	699 000 000
Indigo......	449	658 000 000
Bleu........	475	622 000 000
Vert.......	512	577 000 000
Jaune......	551	535 000 000
Orangé.....	583	506 000 000
Rouge......	620	477 000 000

Si les rayons colorés dont la réunion constitue la lu blanche, et que le prisme sépare à cause de leur inégale ré gibilité, étaient effectivement des rayons simples, il serai turel d'admettre avec Euler que la sensation de chaque co a pour cause immédiate la longueur d'ondulation ou la de vibration propre à chaque rayon simple; mais les e riences du docteur Brewster et d'autres physiciens mod tendent à faire rejeter cette explication. Suivant le docteur I ster, le spectre solaire résulte de la superposition de trois tres, rouge, jaune et bleu ; et les diverses nuances du sp solaire résultent de ce que les couleurs rouge, jaune et ont des intensités inégales dans l'étendue de leurs spectres pectifs. Les rayons rouge, jaune et bleu, qui correspo à une même ligne du spectre solaire (*voyez* la note s page 133 du tome Ier), ou à une même longueur d'ondula ne peuvent point être analysés ou séparés par la réfraction ; on en opérera l'analyse, si l'on place sur leur trajet un m qui laisse passer le rayon d'une couleur, en absorbant ou gnant les rayons des deux autres couleurs. C'est sur des lyses de ce genre que le docteur Brewster fonde sa théori

on l'adopte, la cause qui distingue les sensations de couleur reste inassignable dans l'état de la science.

On sait d'ailleurs que les rayons solaires fournissent, outre le spectre irisé et visible (c'est-à-dire, outre les trois spectres à couleurs fondamentales du docteur Brewster), un spectre calorifique et un spectre à action chimique, tous deux dépassant les limites du spectre visible, l'un dans un sens, l'autre en sens opposé, et pouvant même avoir tous deux leur *maximum* d'intensité hors des limites du spectre visible, selon la nature du prisme réfringent. C'est le spectre à action chimique qui opère ce curieux phénomène de la fixation des images, devenu si célèbre dans ces derniers temps par la découverte de M. Daguerre.

Suivant nous, la différence bien tranchée des spectres calorifique, chimique et lumineux, ajoute singulièrement à la probabilité de l'hypothèse du docteur Brewster, ou de toute autre qui tendrait à expliquer la dégradation continue des couleurs par la superposition de spectres à teintes tranchées, dont l'intensité seulement varierait avec continuité. Le fait de l'inégalité d'action des différents spectres sur la rétine une fois admis (quoique la cause en soit inconnue, comme celle de l'inégalité d'action des rayons calorifiques et chimiques), on n'a plus de peine à comprendre comment il se fait que les longueurs d'ondulation, pour les deux extrémités du spectre visible, ne varient guère que dans le rapport de 2 à 3; tandis que, si la longueur des ondulations éthérées déterminaient la couleur, comme les longueurs des ondulations sonores déterminent le ton, il serait fort extraordinaire que l'échelle des *couleurs perceptibles* se trouvât si raccourcie, par comparaison avec l'échelle des *sons perceptibles*.

En définitive, les ondulations éthérées donnent lieu à des phénomènes incomparablement plus complexes et plus merveilleux que ceux qui résultent des ondulations sonores; et pourtant il s'en faut bien que l'acoustique soit une science épuisée. L'assimilation des ondes lumineuses aux ondes sonores, telles qu'Euler la concevait, ne peut subsister que pour certains caractères généraux des mouvements vibratoires; elle s'évanouit dès qu'on arrive aux détails.

LETTRE IV.

(13 juin 1761.)

Sur la question : De quelle manière les corps opaques nous deviennent visibles.

V. A. ne trouvera aucune difficulté dans l'idé que je viens d'établir des corps colorés. Les moin dres particules dont les surfaces de tous les corp sont tapissées sont toujours douées d'un certai degré de ressort qui les rend susceptibles d'un mouvement de vibration ou d'agitation, de mêm qu'une corde qui est toujours susceptible d'un cer tain son. Et c'est le nombre de vibrations que ce particules sont capables de rendre dans une se conde, qui détermine l'espèce de la couleur.

En cas que les particules de la surface soien trop relâchées pour recevoir une telle agitation, l corps sera noir, puisque la noirceur n'est autr chose qu'un manque de lumière, et que tous le corps dont aucun rayon n'est transmis dans no yeux nous paraissent noirs.

Je viens à présent à une question bien impor tante, sur laquelle V. A. pourrait bien encore avoi quelques doutes. On demande par quelle caus lesdites particules où les couleurs des corps rési dent sont actuellement ébranlées, pour recevoir c mouvement de vibration qui excite ensuite de rayons de la même couleur?

En effet, tout revient à découvrir cette cause capable de produire une agitation ; car, dès que les particules mentionnées seront mises dans un mouvement de vibration, l'éther répandu dans l'air en reçoit d'abord une semblable agitation, qui, étant continuée dans nos yeux, y constitue ce que nous nommons *rayons*, d'où la vision est excitée.

D'abord je remarque que les particules des corps ne sont pas mises en mouvement par elles-mêmes, mais qu'il faut pour cet effet une force étrangère; de même qu'une corde tendue demeurerait toujours en repos, si elle n'était pas frappée par quelque force. C'est aussi le cas où se trouvent tous les corps pendant la nuit ou dans les ténèbres; car, puisque nous ne les voyons point, c'est une marque certaine qu'ils n'engendrent point de rayons et que leurs particules sont en repos; c'est-à-dire que, pendant la nuit ou dans les ténèbres, les corps se trouvent dans le même cas que les cordes d'un instrument qui n'est pas touché, ou qui ne rend aucun son; au lieu que tant que les corps sont visibles, ils sont à comparer avec des cordes qui résonnent actuellement.

Or, puisque les corps deviennent visibles dès qu'ils sont éclairés, ou que les rayons du soleil ou de quelque autre corps lumineux y tombent, il faut bien que la même cause qui les éclaire excite aussi leurs moindres particules à ce mouvement de vibration propre à engendrer des rayons, et à exciter dans nos yeux le sentiment de la vision. Ce seraient donc les rayons de lumière, en tant qu'ils

tombent sur un corps, qui font frémir les moindre particules pour les rendre visibles.

Cela paraît d'abord fort surprenant, attend qu'en exposant nos mains à la plus forte lumière nous n'en ressentons point la moindre impressio Mais il faut considérer que notre sens d'attouche ment est trop grossier pour sentir ces subtiles e légères impressions; au lieu que le sens de la vu étant incomparablement plus délicat, en est bie vivement frappé. Ce qui nous fournit une preu incontestable que les rayons de lumière, lorsqu'i tombent sur un corps, ont assez de force pour ag sur les moindres particules pour les faire frémi Et c'est précisément en quoi consiste l'action do j'ai besoin pour expliquer comment les corps, éta éclairés, sont mis en état de produire eux-mêmes de rayons par le moyen desquels ils nous devienne visibles. Il suffit que les corps soient éclairés o exposés à une autre lumière, pour que leurs moi dres particules en soient agitées, et mises par là e état d'engendrer elles-mêmes des rayons qui no les rendent visibles.

La belle harmonie entre l'ouïe et la vue por cette explication au plus haut degré de certitud On n'a qu'à exposer un clavecin à un grand brui et l'on verra que non-seulement ses cordes en so mises en vibration, mais on entendra aussi le so de chacune presque de la même manière que si el était touchée effectivement. Le mécanisme de phénomène est aussi aisé à comprendre, dès qu'o reconnaît qu'une corde agitée est capable de con

muniquer à l'air un semblable mouvement de vibration, qui, étant transmis à l'oreille, y excite le sentiment d'un son que cette même corde rend.

Or, de la même manière qu'une corde excite dans l'air un tel mouvement, il s'ensuit réciproquement qu'un tel mouvement dans l'air est aussi capable d'agir sur la corde et de la faire trembler. Donc, puisqu'il est certain qu'un bruit est capable de mettre en mouvement les cordes d'un clavecin pour les faire résonner, la même chose doit aussi avoir lieu dans les objets de notre vue.

Les corps colorés sont semblables aux cordes d'un clavecin, et les différentes couleurs aux sons différents, par rapport au grave et à l'aigu. La lumière dont ces corps sont éclairés est analogue au bruit auquel le clavecin est exposé; et comme ce bruit agit sur les cordes, la lumière dont un corps est éclairé agira d'une manière semblable sur les moindres particules dans la surface de ce corps; et en leur faisant rendre des vibrations, il en naît des rayons, tout de même que si ces particules étaient lumineuses; la lumière n'étant autre chose que le mouvement de vibration des moindres particules d'un corps communiquées à l'éther, qui les transmet ensuite jusque dans les yeux.

Après cet éclaircissement, il me semble que tous les doutes que V. A. pourrait encore avoir eus sur mon système des couleurs doivent s'évanouir. Au moins je me flatte d'avoir aussi bien établi le vrai principe de toutes les couleurs différentes, qu'expliqué comment ces couleurs nous deviennent visibles par la

seule lumière dont les corps sont éclairés, à moins que les doutes ne roulent sur quelque autre article que je n'ai pas touché.

LETTRE V.

(16 juin 1761.)

Sur les merveilles de la voix humaine.

Lorsque j'ai eu l'honneur d'expliquer à V. A. l théorie des sons, je n'en ai considéré qu'une doubl différence : la première regardait la force des sons, où j'avais remarqué qu'un son est d'autant plus for que les vibrations qui en sont excitées dans l'ai sont violentes; de là le bruit d'un canon ou le so d'une cloche est plus fort que le son d'une corde o d'un homme qui parle.

L'autre différence est tout à fait indépendante d celle-ci, et se rapporte au grave et à l'aigu des sons par laquelle nous disons que certains sons sont haut et d'autres bas. Par rapport à cette différence, j'avai remarqué qu'elle dépend du nombre des vibration qui s'achèvent dans un certain temps, comme dan une seconde; de sorte que plus ce nombre es grand, plus le son est haut ou aigu; et plus il es petit, plus le son est bas ou grave.

V. A. comprend qu'un même ton peut être fort o faible; et nous voyons aussi que le *forte* et le *pian* dont les musiciens se servent, ne changent rien dan

la nature des sons. Entre les bonnes qualités d'un clavecin, on exige que tous les sons aient à peu près la même force; et c'est toujours un grand défaut lorsque quelques-unes des cordes sont pincées avec plus de force que les autres. Or, le grave et l'aigu ne se rapportent qu'aux sons simples, dont toutes les vibrations se suivent régulièrement et par intervalles égaux; et ce n'est que de ces sons, qu'on nomme simples, qu'on se sert dans la musique. Les accords qu'on y emploie sont des sons composés, où un amas de plusieurs sons produits à la fois, où parmi les vibrations doit régner un certain ordre, qui est le fondement de l'harmonie. Mais quand on ne découvre aucun ordre dans les vibrations, c'est un bruit confus dont on ne saurait dire avec quel son du clavecin il est d'accord; comme, par exemple, le bruit d'un canon ou d'un fusil.

Mais parmi les sons simples, il y a même encore une différence très-remarquable, qui semble être échappée à l'attention des philosophes. Deux sons peuvent être également forts, et d'accord avec le même son du clavecin; et malgré cela ils peuvent être très-différents à l'oreille. Le son d'une flûte est tout à fait différent de celui d'un cor, quoique tous les deux conviennent avec le même ton du clavecin, et soient également forts. C'est ainsi que chaque son tient quelque chose de l'instrument qui le rend, et on ne saurait presque dire en quoi cette qualité consiste (1) : aussi la même corde rend-elle des sons

(1) Cette qualité est ce qu'on nomme le *timbre*. Imaginons une série de battements inégaux, laquelle se reproduit pério-

différents à cet égard, selon qu'elle est frappée, touchée ou pincée; et V. A. sait très-bien distinguer les sons des cors, des flûtes et d'autres instruments.

diquement avec une grande rapidité, par exemple, 100 fois dans une seconde : le ton du son produit sera le ton C (tome I, page 12), et il ne changera pas, quel que soit l'ordre suivant lequel se succèdent, dans chaque série ou période, les battements inégaux. Au contraire, le *timbre* du son produit changera, selon l'ordre dans lequel se succéderont les battements forts et faibles, ou suivant les rapports qu'on établira entre les intervalles de succession des battements. Des expériences de M. Cagniard-Latour, faites avec l'appareil auquel il donne le nom de *sirène*, et qu'on voit dans tous les cabinets de physique, justifient très-bien cette explication du timbre. Il résulte de là qu'on ne peu pas concevoir une série simple ou une *échelle* des timbres, ana logue à l'échelle ou à la série ascendante des tons; puisque, chaque hypothèse sur le nombre et sur les intervalles de suc cession des battements, en peuvent correspondre une infinit d'autres sur les renforcements alternatifs, et réciproquement D'ailleurs, chaque battement ou explosion isolée est un *bruit* qu n'a, à proprement parler, ni ton, ni timbre appréciable, mai qui pourtant affecte l'oreille d'une manière propre : de faço que, dans les mêmes hypothèses sur le nombre, sur l'ordre d succession, et sur la loi de renforcement des battements con sécutifs, un changement dans le mode de production de chaq bruit ou battement élémentaire devrait donner lieu à distin guer de nouvelles sortes de timbre dans les sons produits.

Il y a sujet de croire que la distinction des voyelles, dans l voix humaines, correspond à une sorte particulière de timbr dont la cause rentre dans l'une de celles qui viennent d'ét indiquées. Mais les expériences manquent pour nous apprend à laquelle des causes indiquées tient ce timbre *sui generis*, q se combine encore avec d'autres, par exemple avec celui q nous fait distinguer la voix d'une personne connue, quelle q soit la voyelle qu'elle chante, et sur quelque ton qu'elle la chan

La plus admirable diversité s'observe dans la voix humaine, qui nous offre le plus merveilleux chef-d'œuvre du Créateur, sans parler des différentes articulations dont la parole est formée. Que V. A. daigne seulement réfléchir sur les diverses voyelles que la bouche prononce ou chante tout simplement. Quand on prononce ou chante la lettre *a*, le son est tout autre que si l'on prononçait ou chantait la lettre *e*, ou *o*, ou *i*, ou *u*, ou *ai*, etc., quoiqu'on demeure au même ton. Ce n'est donc pas dans la rapidité ou l'ordre des vibrations qu'on doit chercher la raison de cette différence; cette raison semble si cachée, que les philosophes ne l'ont pas encore pu approfondir.

V. A. s'apercevra aisément que, pour prononcer ces diverses voyelles, il faut donner à la cavité de la bouche une différente conformation à laquelle notre bouche est propre, préférablement à celle de tous les animaux. Aussi voyons-nous que quelques oiseaux, qui apprennent à imiter la voix humaine, ne sont jamais capables de prononcer distinctement les différentes voyelles; ce n'est toujours à cet égard qu'une imitation très-imparfaite.

On trouve dans plusieurs orgues un registre qui porte le nom de *voix humaine*. Ordinairement ce ne sont que des sons qui rendent la voyelle *ai* ou *æ*. Je ne doute pas qu'en y faisant quelque changement on pourrait aussi produire les sons des autres voyelles *a*, *e*, *i*, *o*, *u*, *ou*; mais tout cela ne suffirait pas encore pour imiter une seule parole de la voix humaine : comment y voudrait-on ajouter

les lettres consonnantes, qui sont autant de modi fications des voyelles? Notre bouche est si admira blement ajustée, que, quelque commun que soi cet usage, il nous est presque impossible d'en ap profondir le véritable mécanisme.

Nous observons bien trois organes pour expri mer les consonnantes : les lèvres, la langue et l palais; mais le nez y concourt aussi très-essentielle ment. En fermant le nez, on ne saurait prononce les lettres *m* et *n;* on n'entend alors que *b* et *d.* Un grande preuve de la merveilleuse structure de notr bouche, qui la rend propre à prononcer des pa roles, est sans doute que l'adresse des homme n'a encore pu réussir à l'imiter par quelques ma chines. On a bien imité le chant, mais sans aucun articulation des sons et distinction des diverse voyelles.

Ce serait sans doute une des plus importantes dé couvertes, que de construire une machine qui fû propre à exprimer tous les sons de nos paroles ave toutes les articulations. Si l'on réussissait jamais à exécuter une telle machine, et qu'on fût en état d lui faire prononcer toutes les paroles par le moyen de certaines touches, comme d'un orgue ou d'un clavecin, tout le monde serait avec raison surpri d'entendre qu'une machine prononçât des discour entiers, ou des sermons, qu'il serait possible d'ac compagner avec la meilleure grâce. Les prédicateur et les orateurs dont la voix n'est pas assez agréabl pourraient alors jouer leurs sermons et discours su une telle machine, tout de même que les organiste

jouent les pièces de musique. La chose ne me paraît pas impossible.

LETTRE VI.

(20 juin 1761.)

Précis des principaux phénomènes de l'électricité.

La matière sur laquelle je voudrais à présent entretenir V. A. me fait presque peur. La variété en est surprenante, et le dénombrement des faits sert plutôt à nous éblouir qu'à nous éclairer. C'est de l'électricité dont je parle, et qui depuis quelque temps est devenue un article si important dans la physique, qu'il n'est presque plus permis à personne d'en ignorer les effets.

Je ne doute pas que V. A. n'en ait déjà entendu parler très-souvent, quoique je ne sache pas si elle en a aussi vu faire les expériences. Tous les physiciens en parlent aujourd'hui avec le plus grand empressement, et on y découvre presque tous les jours de nouveaux phénomènes, dont la seule description remplirait plusieurs centaines de lettres; et peut-être ne finirais-je jamais.

Voilà l'embarras où je me trouve. Je ne voudrais pas laisser ignorer à V. A. une partie si essentielle à la physique; mais je ne voudrais pas non plus l'ennuyer par une description diffuse de tous les phénomènes, qui, outre cela, ne fournirait point les éclaircissements que V. A. serait en droit d'exiger sur cette

matière. Je me flatte cependant d'avoir trouvé une route suivant laquelle j'espère de mettre V. A. tellement au fait de cette matière embrouillée, qu'elle acquerra très-facilement une connaissance beaucoup plus parfaite que n'en ont la plupart des physiciens qui travaillent jour et nuit à approfondir ces mystères de la nature.

Sans m'arrêter à exposer à V. A. tous les différents phénomènes et effets de l'électricité, ce qui m'engagerait sans doute dans un détail aussi long qu'ennuyant, au bout duquel on ne serait pas plus avancé dans la véritable connaissance des causes qui produisent tous ces effets, je suivrai une route tout à fait opposée, et je commencerai à expliquer à V. A. le véritable principe de la natúre sur lequel tous ces phénomènes, quelque variés qu'ils paraissent, sont fondés, et duquel il est très-aisé de les déduire tous sans le moindre embarras.

Pour cet effet, il suffira de remarquer, en général, qu'on excite l'électricité en frottant bien un tuyau de verre; c'est par ce moyen que le tuyau devient électrique : alors il attirera et repoussera alternativement les corps légers qu'on lui présente; et quand on lui approche d'autres corps, on voit sortir entre eux des étincelles, lesquelles, rendues plus fortes, allument de l'esprit-de-vin et d'autres matières combustibles. Lorsqu'on touche avec le doigt ce tuyau, outre l'étincelle qui en sort, on sent une piqûre qui peut, sous de certaines circonstances, devenir si grande, qu'on en ressent une concussion par tout le corps.

Au lieu d'un tuyau de verre, on se sert aussi d'un globe de verre qu'on fait tourner autour d'un axe, comme au tour. Pendant ce mouvement on le frotte de la main, ou par le moyen d'un coussin qu'on y applique; et de cette façon le globe devient également électrique, et produit les mêmes phénomènes que le tuyau.

Outre le verre, les corps résineux, comme la cire d'Espagne et le soufre, ont aussi la même propriété de devenir électriques par le frottement. Mais ce ne sont aussi que certaines espèces de corps que le frottement est capable de rendre électriques, parmi lesquels le verre, la cire d'Espagne et le soufre sont les principaux.

Pour les autres corps, on a beau les frotter tant qu'on veut, on n'y remarquera jamais le moindre signe d'électricité. Mais quand on les approche des premiers après les avoir rendus électriques, ils en acquièrent d'abord la même propriété. Ces corps deviennent donc électriques par communication, puisque le seul attouchement, et souvent le voisinage seulement des corps électriques, les rend tels.

De là tous les corps se partagent en deux classes: la première comprend les corps qui par le frottement deviennent électriques, et l'autre, ceux qui le deviennent par communication, et où le frottement ne produit aucun effet. Ici, il est fort remarquable que les corps de la première classe ne reçoivent aucune électricité par communication : quand on présente à un tuyau ou à un globe de verre, fortement électrisé, d'autres verres ou d'autres corps que le frottement

est capable de rendre électriques, cet attouchemer ne leur communique aucune électricité. D'où la di tinction de ces deux classes de corps devient d'autar plus digne d'attention, les uns étant propres à dev nir électriques par le frottement, et point du tout pa communication; les autres, au contraire, ne dev nant électriques que par la communication, et poi du tout par le frottement.

Tous les métaux appartiennent à cette dernièı classe; et la communication va si loin, que quan on présente un bout d'un fil d'archal à un cor électrique, l'autre bout devient électrique, quelq long que soit ce fil; et en appliquant encore un aut fil au dernier bout du premier, l'électricité se r pandra aussi par toute la longueur de cet autre fi de sorte que par ce moyen on est en état de tran mettre l'électricité aux plus grandes distances.

L'eau est pareillement une matière qui reçoit a sément l'électricité par communication. On a éle trisé des étangs tout entiers; de sorte que quand o y approcha le doigt, on en a vu sortir des étincell et on a senti une douleur.

Il est maintenant aussi hors de doute que l éclairs et le tonnerre ne sont que l'effet de l'électr cité des nuages, qui sont devenus électriques p quelque cause que ce soit. Un orage nous prés en grand les mêmes phénomènes de l'électricité, les physiciens nous montrent en petit par leurs e périences.

LETTRE VII.

(23 juin 1761.)

Du véritable principe de la nature sur lequel tous les phénomènes de l'électricité sont fondés.

Le précis que je viens de donner des principaux phénomènes de l'électricité aura sans doute excité la curiosité de V. A. sur les forces cachées de la nature qui sont capables de produire des effets si surprenants.

La plupart des physiciens avouent là-dessus leur ignorance. Ils paraissent si éblouis de la variété infinie qu'ils découvrent tous les jours, et par les circonstances tout à fait merveilleuses qui accompagnent ces phénomènes, qu'ils perdent tout le courage d'en oser approfondir la véritable cause. Ils y reconnaissent bien une matière subtile qui en est le premier agent, et qu'ils nomment la *matière électrique;* mais ils sont si embarrassés d'en déterminer la nature et les propriétés, que cette grande partie de la physique en devient plutôt embrouillée qu'éclaircie.

Il n'y a aucun doute qu'il ne faille chercher la source de tous les phénomènes de l'électricité dans une certaine matière fluide et subtile ; mais nous n'avons pas besoin d'en feindre une dans notre imagination. Cette même matière subtile qu'on nomme

devient d'autant plus petite, qu'il est plus raréfié ou répandu dans un plus grand espace.

Maintenant c'est de l'élasticité de l'air relative à sa densité que dépend la vitesse du son, qui parcourt un espace d'environ mille pieds dans une seconde. Si l'élasticité de l'air était plus grande, la densité demeurant la même, la vitesse du son serait plus grande ; et la même chose arriverait si l'air était plus rare ou moins dense qu'il n'est, et que son élasticité fût la même. En général, plus un tel milieu, semblable à l'air, est élastique et moins dense en même temps, plus aussi rapidement seront transmises les agitations qui y seront excitées. Donc, puisque la lumière est transmise tant de mille fois plus vite que le son, il faut bien que l'éther, c'est-à-dire ce milieu dont les ébranlements constituent la lumière, soit plusieurs mille fois plus élastique que l'air, et en même temps aussi plusieurs mille fois plus rare ou plus subtil, l'un et l'autre contribuant également à accélérer la propagation de la lumière.

De là V. A. comprend la raison pourquoi on suppose l'éther plusieurs mille fois plus élastique et en même temps plusieurs mille fois plus subtil que l'air ; sa nature étant d'ailleurs semblable à celle de l'air, en tant qu'il est aussi une matière fluide, et susceptible tant de compression que de raréfaction. C'est cette qualité qui nous conduira à l'explication de tous les phénomènes de l'électricité.

rayons de lumière ne sont pas des émanations actuelles lancées des corps lumineux, aussi peu que le son est une émanation des corps sonores. Il est plutôt certain que les rayons de lumière ne sont autre chose qu'un ébranlement ou agitation dans une matière subtile, de même que le son qui consiste dans une semblable agitation excitée dans l'air. Et, de la même manière que le son est excité et transmis par l'air, la lumière est excitée et transmise par une matière beaucoup plus subtile, qu'on nomme l'éther, et qui remplit par conséquent tous les espaces entre les corps célestes.

L'éther est donc un milieu propre à exciter des rayons de lumière, et c'est cette même qualité qui nous met en état d'en connaître mieux la nature et les propriétés. Nous n'avons qu'à réfléchir sur les propriétés de l'air, qui le rend propre à exciter et transmettre le son. La principale cause est dans son élasticité ou dans son ressort. V. A. sait que l'air a une force de se répandre en tout sens, et qu'il se répand actuellement dès que les obstacles sont ôtés. L'air ne se trouve en repos qu'autant que son élasticité est partout la même ; dès qu'elle serait plus grande dans un endroit qu'en d'autres, l'air s'y répandrait actuellenent. L'expérience nous fait voir aussi que plus on comprime l'air, plus son élasticité en est augmentée : c'est de là que vient la force des fusils à vent, où l'air, étant comprimé avec beaucoup de force, est capable de pousser la balle par le canon avec une grande vitesse. Un effet contraire arrive lorsqu'on raréfie l'air : son élasticité

devient d'autant plus petite, qu'il est plus raréfié ou répandu dans un plus grand espace.

Maintenant c'est de l'élasticité de l'air relative à sa densité que dépend la vitesse du son, qui parcourt un espace d'environ mille pieds dans une seconde. Si l'élasticité de l'air était plus grande, la densité demeurant la même, la vitesse du son serait plus grande ; et la même chose arriverait si l'air était plus rare ou moins dense qu'il n'est, et que son élasticité fût la même. En général, plus un tel milieu, semblable à l'air, est élastique et moins dense en même temps, plus aussi rapidement seront transmises les agitations qui y seront excitées. Donc, puisque la lumière est transmise tant de mille fois plus vite que le son, il faut bien que l'éther, c'est-à-dire ce milieu dont les ébranlements constituent la lumière, soit plusieurs mille fois plus élastique que l'air, et en même temps aussi plusieurs mille fois plus rare ou plus subtil, l'un et l'autre contribuant également à accélérer la propagation de la lumière.

De là V. A. comprend la raison pourquoi on suppose l'éther plusieurs mille fois plus élastique et en même temps plusieurs mille fois plus subtil que l'air ; sa nature étant d'ailleurs semblable à celle de l'air, en tant qu'il est aussi une matière fluide, et susceptible tant de compression que de raréfaction. C'est cette qualité qui nous conduira à l'explication de tous les phénomènes de l'électricité.

LETTRE VIII.

(27 juin 1761.)

Continuation, et en particulier sur la différente nature des corps par rapport à l'électricité.

L'éther étant une matière subtile et semblable à l'air, mais plusieurs mille fois plus rare et plus élastique, il ne saurait être en repos, à moins que son élasticité, c'est-à-dire sa force de se répandre, ne soit partout la même.

Dès que l'éther sera dans un endroit plus élastique, ce qui arrive lorsqu'il y est plus comprimé qu'aux environs, il s'y répandra actuellement en comprimant celui des environs, jusqu'à ce qu'il soit parvenu partout au même degré d'élasticité. C'est alors qu'on dit qu'il est en équilibre, l'équilibre n'étant autre chose que l'état de repos, lorsque les forces qui tendent à le troubler se contre-balancent les unes les autres.

Donc, quand l'éther n'est pas en équilibre, il y doit arriver la même chose que dans l'air, lorsque son équilibre est troublé; c'est-à-dire qu'il doit se répandre de l'endroit où son élasticité est plus grande, vers celui où elle est plus petite : mais à cause de sa plus grande élasticité et subtilité, ce mouvement doit être beaucoup plus rapide que dans l'air. Le défaut d'équilibre dans l'air cause un vent par lequel l'air se transporte d'un endroit à

l'autre : ce sera donc aussi une espèce de ven quand l'équilibre de l'éther sera troublé, mais vent incomparablement plus subtil, par lequel l ther passe des endroits où il était plus comprir et plus élastique, à ceux où l'élasticité sera pl petite.

Cela posé, j'ose avancer que tous les phénomèn de l'électricité sont une suite naturelle du défa de l'équilibre dans l'éther, de sorte que, partout l'équilibre de l'éther est troublé, les phénomèn de l'électricité en doivent résulter; ou bien, je c que l'électricité n'est autre chose qu'un dérang ment dans l'équilibre de l'éther.

Pour développer tous les effets de l'électricité, faut avoir égard à la manière dont l'éther est mê et enveloppé avec tous les corps qui nous enviro nent. Ici-bas, l'éther ne se trouve que dans les peti interstices que les particules de l'air et tous les a tres corps laissent entre eux. Rien n'est plus nat rel que l'éther, à cause de son extrême subtilité de son élasticité, s'insinue dans les plus petits p res de tous les corps où l'air ne saurait entrer, même dans les pores de l'air. V. A. se souviend que tous les corps, quelque solides qu'ils parai sent, sont remplis de tels pores; et plusieurs exp riences prouvent incontestablement que dans to les corps les pores occupent beaucoup plus d'espa que les parties solides; enfin, moins un corps est pesan plus il doit être rempli de ces pores qui ne contier nent que de l'éther : d'où il est clair que, quoiqu l'éther soit tellement parsemé dans les plus petit

pores des corps, il doit pourtant se trouver en très-grande abondance aux environs de la terre.

V. A. comprendra fort aisément de là qu'il doit y avoir une très-grande différence parmi ces pores, tant par rapport à leur grandeur qu'à leur figure, selon la différente nature des corps, puisque la diversité des corps dépend probablement de la diversité de leurs pores. Donc, il y aura sans doute des pores plus fermés, et qui ont moins de communication avec d'autres pores; de sorte que l'éther qui y est enfermé y est aussi plus engagé, et ne s'en dégage que très-difficilement, quoique son élasticité soit beaucoup plus grande que celle de l'éther qui se trouve dans les pores voisins. Il y aura aussi au contraire des pores assez ouverts, et d'une libre communication avec les pores voisins : alors il est clair que l'éther qui se trouve dans ces pores ne s'y tient pas si fermement que dans le cas précédent; et s'il est plus ou moins élastique que dans les pores voisins, il se mettra bientôt en équilibre.

Pour distinguer ces deux espèces de pores, je nommerai les premiers *fermés*, et les autres *ouverts*. La plupart des corps seront donc doués de pores d'une espèce moyenne, qu'il suffira de distinguer par les mots de *plus* ou *moins fermés*, et de *plus* ou *moins ouverts*.

Cela posé, je remarque d'abord que, si tous les corps avaient des pores parfaitement fermés, il ne serait pas possible de changer l'élasticité de l'éther qui y est contenu; et quand même l'éther de quel-

plus variés, que les pores des corps où l'éther e
engagé seront plus différents, et qu'ils lui accord
ront une plus ou moins libre communication av
les autres.

Cette différence, à l'égard des pores des corp
répond parfaitement bien à celle que les premie
phénomènes de l'électricité nous ont fait remarqu
parmi les corps, par laquelle les uns devienne
aisément électriques par la seule communicatio
ou dans le voisinage d'un corps électrique, penda
que d'autres n'en souffrent presque aucun chang
ment. De là V. A. jugera d'abord que les corps q
reçoivent si aisément l'électricité par la seule com
munication, sont ceux qui ont leurs pores ouvert
et que les autres, qui sont presque insensibles à l'
lectricité, doivent avoir leurs pores fermés, ou e
tièrement, ou pour la plus grande partie.

C'est donc des phénomènes mêmes de l'électi
cité que nous pourrons conclure quels sont l
corps qui ont leurs pores fermés ou ouverts; s
quoi je puis fournir à V. A. les éclaircissemen
suivants :

Premièrement, l'air commun que nous respiro
a ses pores presque entièrement fermés; de soi
que l'éther qui y est enfermé ne saurait en so
que fort difficilement, et qu'il trouve autant de d
ficulté pour y pénétrer. Ainsi, quoique l'éther r
pandu par l'air ne soit pas en équilibre avec cel
qui se trouve en d'autres corps, y étant plus o
moins comprimé, le rétablissement en équilibre n'a
rive que très-difficilement. Or, cela doit s'entend

de l'air sec, l'humidité étant d'une nature toute différente, comme je le remarquerai bientôt.

Ensuite, dans cette même classe des corps à pores fermés, il faut ranger le verre, la poix, les corps résineux, la cire d'Espagne, le soufre, et en particulier la soie. Toutes ces matières ont leurs pores si bouchés, que l'éther ne saurait y entrer ni en sortir que fort difficilement.

L'autre classe principale des corps dont les pores sont ouverts contient premièrement l'eau, et les autres liqueurs dont la nature est tout à fait contraire à celle de l'air; ce qui est la raison pour laquelle l'air, lorsqu'il devient humide, change tout à fait de nature à l'égard de l'électricité, puisqu'alors l'éther peut y entrer et en sortir presque sans aucune difficulté. A cette même classe des corps à pores ouverts il faut rapporter tous les métaux et les corps des animaux.

Pour les autres corps, comme le bois, plusieurs pierres et terres, ils tiennent une nature moyenne entre les deux espèces principales que je viens de rapporter; et le passage de l'éther, tant pour y entrer que pour en sortir, est plus ou moins facile, selon la propre nature de chaque espèce.

Après ces éclaircissements sur la diverse nature des corps à l'égard de l'éther qui y est engagé, V. A. verra avec bien de la satisfaction comment tous les phénomènes de l'électricité, qu'on regarde comme des prodiges, en découlent très-naturellement.

Tout dépend de l'état de l'éther répandu ou dis-

persé dans les pores de tous les corps, en tant qu'il n'a pas partout le même degré d'élasticité, ou qu'il est plus ou moins comprimé en quelques corps qu'en d'autres; car alors l'éther, n'étant pas en équilibre, fera des efforts pour s'y remettre. Des endroits où il est comprimé, il tâchera de se dégager autant que l'ouverture des pores le permet, pour se répandre et entrer dans les pores où la compression est moindre; et cela durera jusqu'à ce qu'il soit remis partout au même degré de compression et d'élasticité, pour y demeurer en équilibre.

Ici je remarque d'abord que lorsque l'éther passe d'un corps où il était comprimé, dans un autre où la compression était moindre, il rencontrera dans l'air, entre les deux corps, de grands obstacles, à cause des pores de l'air, presque tout à fait fermés. Cependant il percera par l'air, comme par une matière liquide et très-déliée, pourvu que sa force ne soit pas trop petite, ou l'intervalle entre les corps trop grand. Or, ce passage de l'éther étant fort gêné et presque empêché par les pores de l'air, il lui arrivera la même chose qu'à l'air, lorsqu'on le force de passer bien vite par de petits trous : on entend alors un sifflement, qui est une marque que l'air y est mis dans un mouvement d'agitation qui cause ce son.

Il est donc très-naturel que l'éther, lorsqu'il est forcé de pénétrer à travers les pores de l'air, y doit aussi recevoir une espèce d'agitation. Or, V. A. se souviendra que comme une agitation dans l'air produit un son, ainsi une semblable agitation dans

l'éther est la cause de la lumière : donc, toutes les fois que l'éther échappe d'un corps pour passer dans un autre, son passage par l'air doit être accompagné d'une lumière qui paraît tantôt sous la forme d'une étincelle, tantôt sous celle d'un éclair, lorsque la quantité est assez grande.

Voilà donc la plus remarquable circonstance qui accompagne la plupart des phénomènes électriques, qui s'explique avec évidence par nos principes. Mais il sera bon d'entrer dans un plus grand détail, ce qui me fournira une matière très-agréable pour quelques-unes des lettres suivantes.

LETTRE X.

(4 juillet 1761.)

De l'électricité positive, et de l'électricité négative. Explication du phénomène de l'attraction.

De ce que je viens d'exposer, V. A. comprendra facilement qu'un corps doit devenir électrique, lorsque l'éther qui est contenu dans ses pores devient ou plus ou moins élastique que celui qui se trouve dans les corps environnants ; ce qui arrive lorsqu'une grande partie d'éther a été introduite dans les pores de ce corps, ou lorsqu'une partie de l'éther qui y est contenue en est chassée. Dans le premier cas, l'éther y devient plus comprimé, et par conséquent plus élastique ; dans l'autre cas, il

y devient plus rare et perd aussi de son élastic
Dans l'un et l'autre cas il n'est plus en équili
avec l'éther de dehors; et de ce qu'il fait des
forts pour se remettre en équilibre, c'est ce
produit tous les phénomènes de l'électricité.

De là V. A. voit qu'un corps peut devenir él
trique en deux manières différentes, selon que
ther contenu dans ses pores devient plus ou mo
élastique que celui de dehors; d'où une dou
électricité peut avoir lieu : l'une, où l'éther
trouve plus élastique ou plus comprimé, est no
mée *l'électricité en plus*, ou bien *l'électricité p*
tive; l'autre, où l'éther est moins élastique ou p
raréfié, est nommée *l'électricité en moins*, ou *él*
tricité négative. Les phénomènes de l'une et
l'autre sont à peu près les mêmes; on n'y rem
que qu'une légère différence, dont je parlerai da
la suite.

Naturellement les corps ne sont pas électriqu
puisque l'élasticité de l'éther tend à l'entretenir
équilibre : ce sont toujours des opérations violen
qui troublent l'équilibre de l'éther et rendent
corps électriques; et il faut que ces opératio
agissent sur des corps à pores fermés, afin q
l'équilibre étant une fois dérangé, il ne se ré
blisse pas au même instant. Aussi voyons-nc
qu'on se sert du verre, de l'ambre, de la cire d'l
pagne, ou du soufre, pour y exciter l'électricité.

L'opération la plus facile et la plus connue d
depuis longtemps, est de frotter un bâton de c
d'Espagne avec un morceau de drap de laine; ap

quoi l'on voit que cette cire d'Espagne attire de petits morceaux de papier et d'autres corps légers. L'ambre, étant frotté, produit les mêmes phénomènes; et puisque les anciens avaient donné à cette matière le nom d'*electrum*, c'est de là que cette force excitée par le frottement est encore nommée *électricité*, les plus anciens physiciens ayant déjà observé que cette matière, étant frottée, acquiert une force d'attirer à soi les corps légers.

Cet effet provient sans doute de ce que l'équilibre de l'éther est troublé par le frottement. Il est donc juste que je commence par expliquer cette expérience si commune. L'ambre ou la cire d'Espagne a ses pores assez fermés; or, ceux de la laine dont on frotte sont assez ouverts: pendant le frottement, les pores de l'un et de l'autre sont comprimés, et par là l'éther qui y est contenu est réduit à un plus haut degré d'élasticité. Selon que les pores de la laine sont susceptibles d'une plus ou moins grande compression que ceux de l'ambre ou de la cire d'Espagne, il arrivera, ou qu'une portion d'éther passe de la laine dans l'ambre, ou réciproquement de l'ambre dans la laine. Dans le premier cas, l'ambre devient électrique en plus, et dans l'autre en moins; et puisque ses pores sont fermés, cet état se conservera pendant quelque temps, au lieu que la laine, quoiqu'il y soit arrivé un semblable changement, se remet d'abord en son état naturel.

Par les expériences qu'une telle cire d'Espagne électrique fournit, on conclut que son électricité est en moins; de sorte qu'une partie de son éther

ait passé pendant le frottement dans la laine. De là
V. A. comprend comment un bâton de cire d'Espa
gne est dépouillé d'une partie de son éther par l
frottement dans la laine, et qu'il doit devenir élec
trique par ce moyen. Voyons maintenant quel
effets doivent en résulter, et s'ils conviennent ave
ceux qu'on observe actuellement.

Soit AB (*fig.* 2) un bâton de cire d'Espagne, au
quel on a enlevé par le frottement une partie d
l'éther contenu dans ses pores; l'éther qui reste
étant moins comprimé, aura donc moins de forc
pour se répandre, ou bien il aura une moindre éla
ticité que l'éther qui se trouve dans les autres corp
et dans l'air qui l'environne : mais puisque les pore
de l'air sont encore plus fermés que ceux de la cir
d'Espagne, cela empêche que l'éther contenu dan
l'air ne passe point dans la cire d'Espagne pour éta
blir l'équilibre; du moins cela n'arrivera qu'aprè
un temps assez considérable.

Qu'on présente maintenant à ce bâton un pet
corps très-léger C, qui ait ses pores ouverts, l'éthe
qui y est contenu trouvant une issue libre, puis
qu'il a plus de force à se répandre que ne lui op
pose l'éther enfermé dans le bâton en *c*, s'échap
pera actuellement, et se frayera un chemin au tra
vers de l'air, pourvu que la distance ne soit pa
trop grande, et entrera dans le bâton. Ce passag
ne se fera pas pourtant sans beaucoup de difficult
puisque les pores de la cire d'Espagne n'ont qu'un
très-petite ouverture; et par conséquent il ne se
pas accompagné d'une véhémence capable de me

tre l'éther dans un mouvement d'agitation, pour exciter une lumière sensible. On ne verra qu'une faible lueur dans l'obscurité, si l'électricité est assez forte.

Mais on remarquera un autre phénomène qui n'est pas moins surprenant; c'est que le petit corps C sautera vers ce bâton: comme s'il y était attiré. Pour en expliquer la cause, V. A. n'a qu'à considérer que le petit corps C, dans son état naturel, est de tout côté également pressé par l'air qui l'environne; mais puisque, dans l'état où il se trouve à présent, l'éther en échappe et perce par l'air selon la direction C*c*, il est évident que l'air de ce côté pressera moins sur le petit corps qu'ailleurs, et que la pression dont il est poussé vers C*c* l'emportera sur les autres pressions, et le poussera actuellement vers le bâton de la même manière que s'il en était attiré.

C'est ainsi qu'on explique d'une manière intelligible les attractions qu'on observe dans les phénomènes de l'électricité. Dans cette expérience, l'électricité est trop faible pour produire des effets plus surprenants. J'aurai l'honneur de détailler ceux-ci plus amplement dans la suite.

LETTRE XI.

(7 juillet 1761.)

Sur le même sujet.

Après ces faibles commencements dans les phénomènes électriques, ce n'est que depuis peu de temps qu'on les a poussés plus loin. D'abord on s'est servi d'un tuyau de verre semblable à ceux dont on fait les baromètres, mais d'un plus grand diamètre qu'on a frotté avec la main nue ou avec un morceau de drap de laine, et on s'est aperçu de phénomènes électriques plus éclatants.

Or, en frottant de cette sorte un tuyau de verre, V. A. comprend aisément que, par la compression des pores du verre et du corps frottant, une partie de l'éther doit passer ou de la main dans le verre, ou réciproquement du verre dans la main, selon que les pores de l'un ou de l'autre sont plus susceptibles de compression dans le frottement. Après cette opération, l'éther dans la main se remet aisément en équilibre, puisque ses pores sont ouverts; mais parce que les pores du verre sont assez fermés, l'éther s'y conserve dans son état, soit que le verre en soit surchargé ou dépouillé; et par conséquent il sera électrique, et produira des phénomènes semblables à ceux de la cire d'Espagne, mais beaucoup plus forts sans doute, puisque son électricité est portée à un plus haut degré, soit à cause du plus

grand diamètre du tuyau, soit à cause de la nature même du verre.

Les expériences nous laissent conclure que par ce moyen le tuyau de verre devient surchargé d'éther, pendant que la cire d'Espagne en est dépouillée : cependant les phénomènes en sont à peu près les mêmes.

D'abord il faut observer que le tuyau de verre conserve son électricité tant qu'il n'est entouré que de l'air, à cause que les pores tant du verre que de l'air sont trop fermés pour donner à l'éther une communication assez libre, et dépouiller le verre de son éther superflu, qui en augmente l'élasticité. Mais pour cet effet il faut que l'air soit bien sec, puisque ce n'est que dans cet état que ses pores sont bien fermés; dès que l'air est humide ou chargé de vapeurs, les expériences ne réussissent pas, quelque peine qu'on se donne à frotter le verre. La cause en est très-évidente : car, puisque l'eau, qui rend l'air humide, a ses pores très-ouverts, ils reçoivent à chaque instant ce qu'il y a de trop d'éther dans le verre; de sorte que le verre reste dans son état naturel. Ce n'est donc que dans un air bien sec que ces expériences réussissent : voyons maintenant quels phénomènes doit alors produire un tel tuyau de verre, après avoir été frotté.

D'abord il est clair qu'en lui présentant un petit corps léger C à pores ouverts (*fig.* 3), comme des feuilles d'or, l'éther trop élastique du tuyau aux endroits les plus proches DE ne fera pas des efforts inutiles pour se décharger et passer dans les pores

du corps C. Il se frayera un chemin au travers d l'air, pourvu que la distance ne soit pas tro grande; et dans l'obscurité on verra même un lumière entre le tuyau et le corps, dont la cause e l'agitation excitée dans l'éther, qui passe avec pein du tuyau dans le corps. Quand au lieu du corps on y tient le doigt, on y sent même une piqûre q cause l'entrée rapide de l'éther; et quand on y tie le visage à quelque distance, on sent une certai agitation dans l'air qui est causée par le passage l'éther. Quelquefois on entend aussi un craqueme léger, qui est sans doute causé par une agitati de l'air que l'éther traverse si rapidement.

V. A. n'a qu'à se souvenir qu'une agitation da l'air cause toujours un son, et un semblable mo vement dans l'éther une lumière : et la raison ces phénomènes deviendra assez claire.

Mais remettons le petit corps léger C dans le v sinage de notre tuyau électrique; et tant que l'éth s'échappe du tuyau pour entrer dans les pores corps C, l'air en sera chassé en partie, et ne pre sera pas, par conséquent, de ce côté aussi fort s le corps que tout autour : de là arrivera, comm dans le cas précédent, que le corps C sera pous vers le tuyau; et puisqu'il est léger, il s'en appr chera en effet. D'où l'on voit que cette attracti apparente a également lieu, soit que l'éther du tuy soit trop élastique ou trop peu; ou bien, soit q l'électricité du tuyau soit positive ou négative. Da l'un et dans l'autre cas, le passage de l'éther arré l'air, et l'empêche d'agir par sa pression.

Mais pendant que ce petit corps C approche du tuyau, le passage de l'éther devient plus fort, et le corps C sera bientôt aussi surchargé d'éther que le tuyau même. C'est alors que l'action de l'éther, qui ne provenait que de son élasticité, cesse entièrement, et que le corps C soutiendra de toute part une égale pression. L'attraction cessera, et le corps C s'éloignera du tuyau, puisqu'il n'y a plus rien qui l'y arrête, et que sa propre gravité le met en mouvement. Or, dès qu'il s'éloigne, puisque ses pores sont ouverts, son éther superflu échappe bientôt en l'air, et il retourne dans son état naturel. Alors le tuyau agira de nouveau comme au commencement, et on le verra de nouveau s'approcher du tuyau, de sorte qu'il paraîtra alternativement être attiré et repoussé du tuyau : ce jeu durera jusqu'à ce que le tuyau ait perdu son électricité. Car, puisqu'à chaque attraction il se décharge de quelque portion de son éther superflu, outre qu'il s'en échappe insensiblement dans l'air quelque chose, le tuyau sera bientôt rétabli dans son état naturel et dans son équilibre ; et cela d'autant plus promptement que le tuyau est petit et le corps C léger : ce sera alors que tous les phénomènes de l'électricité finiront.

LETTRE XII.

(11 juillet 1761.)

Sur l'atmosphère électrique.

J'aurais presque oublié de parler d'une circonstance très-essentielle, qui accompagne tous les corps électriques tant en plus qu'en moins, et qui nous fournit de très-grands éclaircissements dans l'explication des phénomènes de l'électricité.

Quoiqu'il soit bien vrai que les pores de l'air sont très-fermés, et qu'ils ne permettent presque aucune communication à l'éther qui est enfermé avec celui des environs, il souffre pourtant quelque changement dans le voisinage d'un corps électrique.

Considérons d'abord un corps électrique en moins, comme un bâton de cire d'Espagne AB (*fig.* 4), qui, par le frottement, ait été dépouillé d'une partie de l'éther qui était contenu dans ses pores, de sorte que l'éther qui y est enfermé ait une moindre élasticité que celui des autres corps, et par conséquent aussi de l'air qui environne la cire. Il arrivera nécessairement de là que l'éther contenu dans les particules de l'air qui touchent immédiatement la cire, comme en *m*, ayant une plus grande élasticité, se déchargera tant soit peu dans les pores de la cire, et perdra tant soit peu de son élasticité. De la même manière les particules d'air plus éloi-

gnées, comme en *n*, laisseront aussi échapper quelque portion de leur éther dans les plus proches de *m*, et ainsi de suite jusqu'à une certaine distance, où l'air ne souffrira plus aucun changement. De cette manière, l'air autour du bâton de cire d'Espagne, jusqu'à une certaine distance, sera dépouillé d'une partie de son éther, et deviendra électrique lui-même.

Cette portion de l'air qui participe de cette sorte à l'électricité du bâton de cire, est nommée l'*atmosphère électrique;* et V. A. comprendra, de ce que je viens de rapporter, que tout corps électrique doit être entouré d'une atmosphère. Car si le corps est électrique en plus, ou qu'il ait une électricité positive, de manière que l'éther s'y trouve en trop grande abondance, il y sera plus comprimé et par conséquent plus élastique, comme cela arrive dans un tuyau de verre lorsqu'il est frotté; alors cet éther plus élastique se décharge tant soit peu dans les particules de l'air qui le touchent immédiatement, et ensuite de là dans les particules plus éloignées, jusqu'à une certaine distance; ce qui formera encore une atmosphère électrique autour du tuyau, où l'éther sera plus élastique qu'à l'ordinaire.

Il est évident que cette atmosphère qui environne les corps électriques en doit diminuer peu à peu l'électricité, puisque dans le premier cas il se crible presque continuellement quelque peu d'éther, qui entre de l'air environnant dans le corps électrique, et qui, dans l'autre cas, sort de celui-ci pour entrer dans l'air. C'est aussi la raison pourquoi les corps

électriques perdent enfin leur électricité; et cela arrivera d'autant plus vite, que les pores de l'air sont plus ouverts. Dans un air humide, où les pores sont très-ouverts, toute électricité s'éteint presque dans un instant; mais dans un air fort sec, elle se conserve assez longtemps.

Cette atmosphère électrique s'aperçoit aussi sensiblement : lorsqu'on approche son visage d'un corps électrisé, on sent comme une toile d'araignée causée par le sentiment du passage léger de l'éther, qui passe ou du visage dans le corps électrique, ou réciproquement de celui-ci dans le visage, selon que l'électricité est *en moins* ou *en plus*, ou selon qu'elle est négative ou positive, comme on a coutume de s'exprimer.

L'atmosphère électrique sert aussi à expliquer plus clairement cette alternative attraction et répulsion des corps légers qui se trouvent autour du corps électrique dont j'ai eu l'honneur de parler dans ma lettre précédente, où V. A. aura remarqué que l'explication que j'y ai donnée de la répulsion cloche; mais l'atmosphère électrique suppléera parfaitement à ce défaut.

Que AB (*fig.* 5) représente un tuyau de verre électrique et surchargé d'éther, et que C soit un petit corps léger à pores assez ouverts, dans son état naturel. Que l'atmosphère s'étende jusqu'à la distance DE. Maintenant, puisque les environs de C contiennent déjà un éther plus élastique, celui-ci se déchargera dans les pores du corps C, et sur-le-champ il sortira du tuyau un nouvel éther qui pas-

sera de D en C, et c'est principalement l'atmosphère qui aide à ce passage; car si l'éther contenu dans l'air n'avait aucune communication avec celui du tuyau, le corpuscule C ne se ressentirait point du voisinage du tuyau; mais pendant que l'éther passe de D en C, la pression de l'air entre C et D sera diminuée, et le corpuscule C ne sera plus pressé tout autour également; il sera donc poussé vers D comme s'il y était attiré. Or, à mesure qu'il y approche, il sera aussi de plus en plus surchargé d'éther, et deviendra électrique comme le tuyau même, et par conséquent l'électricité du tuyau n'agira plus sur lui.

Mais puisqu'à présent le corpuscule étant parvenu en D contient trop d'éther, et plus que l'air en E, il s'efforcera d'en échapper pour se rendre en E. L'atmosphère, ou la compression de l'éther, qui va en diminuant de D jusqu'à E, facilitera ce passage, et l'éther superflu coulera effectivement du corpuscule vers E. Par ce passage, la pression de l'air sur le corpuscule sera de ce côté-là plus petite que partout ailleurs, et par conséquent le corpuscule sera poussé vers D, comme si le tuyau le poussait. Mais dès qu'il parvient en E, il sera déchargé de son éther superflu, et rétabli dans son état naturel, d'où il sera de nouveau attiré vers le tuyau comme au commencement; et ayant atteint le tuyau, il en sera repoussé par la même raison que je viens d'expliquer.

C'est donc principalement l'atmosphère électrique qui produit ces phénomènes singuliers, quand

nous voyons que les corps électrisés attirent et repoussent alternativement les petits corps légers, comme de petits morceaux de papier, ou des parcelles de métal, avec lesquelles cette expérience réussit le mieux, puisque ces matières ont leurs pores très-ouverts.

Au reste, V. A. verra aisément que ce que je viens de dire sur l'électricité en plus doit également avoir lieu dans l'électricité en moins : on n'a qu'à renverser le passage de l'éther, par lequel la pression naturelle de l'air doit toujours être diminuée (1).

(1) Le champ des recherches qui ont l'électricité pour objet est plus que quadruplé depuis l'époque où cette partie de la physique semblait à Euler *une matière si embrouillée, dont la variété est surprenante, où le dénombrement des faits sert plutôt à nous éblouir qu'à nous éclairer* (page 99). Ce n'est, ni dans une note, ni dans une suite de notes, que nous pourrions suppléer aux lacunes du texte, ou en rectifier les erreurs, de manière à donner une notion juste de l'état de la science ; mais il est bon de dire un mot de la valeur qu'ont pu conserver les idées d'Euler, comme conceptions philosophiques, et comme anticipation de l'expérience.

L'ensemble des phénomènes porte tous les physiciens à croire que le principe de l'électricité ne doit pas différer essentiellement du principe de la lumière et de la chaleur. De plus, les phénomènes de l'optique, malgré leur merveilleuse variété, se lient assez bien entre eux, par comparaison avec les diverses branches de la théorie de l'électricité, pour qu'on ait quelque raison de supposer que l'optique doit s'encadrer dans la théorie de l'électricité, plutôt que l'électricité dans l'optique. Mais ce ne sont là que des aperçus philosophiques, suggérés par un certain sentiment instinctif de la raison des choses : aperçus qui dominent la science, et guident l'expérimentateur dans ses i

vestigations, mais qui n'ont point le caractère de doctrines scientifiques. Dans l'état de la science, nous ne pouvons que pressentir et non affirmer l'identité du principe lumineux et du principe électrique. C'est au principe lumineux, conçu comme un fluide disséminé dans tout l'espace, qu'il faut provisoirement réserver le nom d'*éther*.

Le caractère le plus général et le plus saillant des phénomènes électriques est la *polarité*. Si l'on conçoit deux corps ou deux portions d'un même corps dans deux états opposés, tellement que l'état *neutre* résulte de la combinaison des deux états contraires, et que réciproquement un corps ne puisse sortir de l'état neutre, en tout ou en partie, sans qu'un autre corps ou une autre portion du même corps se constitue dans l'état opposé, on aura une idée générale de ce que les physiciens nomment *polarité*. Les écoles philosophiques modernes de l'Allemagne se sont livrées à beaucoup de spéculations abstraites sur ce principe de *polarité* ou de *dualité* : nous le considérons ici comme une donnée de l'expérience.

La théorie la plus commode pour l'explication des phénomènes de polarité électrique est celle *des deux fluides*, dont voici sommairement les principes :

I. Il existe deux fluides électriques sans poids et sans masse appréciables, qui se neutralisent, ou dont les actions se détruisent, lorsqu'ils se réunissent en quantités égales, et qu'on peut appeler, à cause de cela, par une comparaison empruntée à l'algèbre, l'un fluide *positif*, l'autre fluide *négatif*. Les particules de chaque fluide se repoussent, et elles attirent celles du fluide de nom contraire, avec une force dont l'intensité varie en raison inverse du carré des distances. On donne le nom de fluide *naturel* ou *neutre* au mélange des deux fluides positif et négatif.

II. La quantité de fluide naturel, contenue dans les corps, est inépuisable.

III. Il y a deux classes de corps pondérables : l'une comprenant les corps qui se laissent traverser facilement par les fluides électriques, et qu'on nomme corps *conducteurs* de l'électricité ; l'autre formée des corps qui opposent de grandes résistances

aux mouvements des fluides électriques, et qu'on nomme pc cette raison corps *non conducteurs* ou *isolants*.

IV. Abstraction faite du fluide naturel, dont l'action est nul l'excès de fluide positif ou négatif que peut posséder un co conducteur plongé dans un milieu non conducteur, tel que l'a se porte tout entier à la surface du corps conducteur, en ve de l'action répulsive qu'exercent les unes sur les autres les p ticules du fluide. Là ce fluide est censé former une couche d' épaisseur inappréciable, mais pourtant variable d'un poin l'autre de la surface. L'épaisseur est plus grande aux points la courbure de la surface est plus grande aussi. La tension fluide électrique, ou la force avec laquelle il tend à se répan au dehors, en vertu de la répulsion de ses particules, proportionnellement au carré de l'épaisseur de la couche. Q la surface du corps conducteur offre des *pointes*, c'est-à-d des points où la courbure est comme infiniment grande, le flu électrique s'y accumule, et y acquiert une tension capable surmonter les obstacles qui s'opposent à sa diffusion dans milieu environnant.

V. La couche électrique, située à la surface d'un corps co ducteur, agit par influence sur le fluide naturel des corps env ronnants; elle tend à le décomposer, en repoussant le fluide même nom et en attirant le fluide de nom contraire. Si ces cor sont conducteurs et isolés, ils se couvriront d'une couche éle trique. Dans une région de leur surface, l'électricité sera positi et dans l'autre région elle sera négative; la ligne de séparati des deux régions se trouvera à l'état neutre.

VI. En général, toute perturbation dans la constitution mol culaire d'un corps est accompagnée d'une décomposition fluide naturel, et du dégagement de deux quantités égales d'éle tricité positive ou négative. C'est ainsi que le frottement, l chocs, l'évaporation, la fusion, les changements de températu les actions chimiques, sont des causes d'électricité.

VII. La commotion électrique résulte de la recompositi soudaine d'une certaine quantité de fluide naturel, par la ne tralisation de deux quantités égales d'électricités contraires.

VIII. Une décomposition et une recomposition continue de fluide naturel, le long d'une file de molécules pondérables, constituent un *courant électrique*. La théorie des courants électriques, inconnue du temps d'Euler, se nomme l'*électro-dynamique*. Cette théorie a des connexions aussi intimes que variées, non-seulement avec toutes les branches de la physique proprement dite, mais encore avec la chimie et avec la physiologie.

A l'aide des principes posés ci-dessus, et notamment des principes I, IV, V, on explique fort simplement les phénomènes d'attraction et de répulsion que présentent les corps conducteurs, électrisés directement ou par influence.

Quelques-uns des phénomènes dans lesquels les deux électricités semblent ne pas se comporter d'une manière symétrique, sont indiqués un peu plus loin par Euler (lettre XV). On en connaît d'autres encore; mais la symétrie est la règle, et le défaut de symétrie l'exception.

Cependant il s'en faut bien que l'hypothèse d'un fluide unique, admise par Euler et par Franklin, soit définitivement condamnée. On est plutôt tenté de croire qu'elle prévaudra, lorsque la science de l'électricité offrira une systématisation plus parfaite.

Si le fluide électrique existe répandu dans tout l'espace, à la manière de l'éther, les actions répulsives exercées en tout sens sur une même particule se détruisent dans l'état de diffusion uniforme, qui correspond à l'état naturel ou neutre. L'équilibre pourra être troublé par l'addition comme par la soustraction d'une certaine quantité de fluide qu'un corps ou une portion déterminée de l'espace doit posséder dans l'état naturel. La soustraction d'une quantité A de fluide électrique équivaudra manifestement à l'addition de la même quantité A d'un fluide hypothétique, qui aurait des propriétés directement contraires à celles du fluide unique que nous admettons maintenant. Sans qu'il soit besoin d'entrer dans de plus grands détails, le lecteur comprendra comment les explications données dans l'hypothèse des deux fluides peuvent s'adapter à l'hypothèse du fluide unique.

LETTRE XIII.

(14 juillet 1761.)

Sur la communication de l'électricité à une barre de fer, par le moyen d'un globe de verre.

Après les expériences faites avec des tuyaux de verre, on est parvenu à porter l'électricité à un plus haut degré de force. Au lieu d'un tuyau, on s'est servi d'un globe ou d'une boule de verre qu'on fait tourner bien vite autour d'un essieu; et en y appliquant la main, ou un coussin fait d'une matière qui a des pores ouverts, on produit un frottement qui rend la boule tout entière électrique.

La *fig.* 6 représente cette boule, qu'on peut faire tourner autour des essieux A et B (*fig.* 6), par un mécanisme semblable à celui dont se servent les tourneurs (1). C est le coussin appliqué assez fortement contre la boule, auquel elle se frotte en tournant. Dans ce frottement les pores du coussin étant comprimés plus que ceux du verre, l'éther qui y est contenu en est chassé, et forcé de s'insinuer dans les pores du verre, où il s'accumule de plus en plus, puisque les pores ouverts du coussin en fournissent toujours de nouveau, y étant continuellement suppléé par l'éther des corps environnants; de sorte que

(1) Le globe est remplacé par un plateau dans les machines électriques de construction moderne.

par ce moyen la boule peut être surchargée d'éther à un plus haut degré que les tuyaux de verre. Aussi les effets de l'électricité y sont plus considérables, mais de la même nature que ceux que je viens de rapporter, en attirant et repoussant alternativement des corps légers; et les étincelles qu'on y voit en y touchant sont beaucoup plus vives.

Mais on ne s'est pas contenté de cette espèce d'expériences que je viens de transcrire à V. A.; on a employé cette boule électrisée à nous découvrir des phénomènes beaucoup plus surprenants.

Après avoir construit la machine pour faire tourner la boule autour de ses essieux A et B, on suspend une barre de fer FG (*fig.* 7), au-dessus ou à côté de la boule, et on dirige vers cette boule une chaîne de fer ou d'autre métal ED, terminée en D à des fils métalliques qui touchent la boule (1). Il suffit que cette chaîne soit attachée à la barre de fer d'une manière quelconque, ou qu'elle la touche seulement. Alors, quand on fait tourner la boule qui frotte contre le coussin en C, afin que l'éther dans le verre devienne surchargé et plus élastique, il en passera aisément dans les fils D, lesquels, étant d'une matière métallique, ont leurs pores très-ouverts; et de là il se déchargera par la chaîne DE dans la barre de fer FG. Ainsi, par le moyen de la boule, l'éther exprimé du coussin C s'accumulera successivement dans la

(1) Dans les machines modernes, la barre de fer est remplacée par un cylindre de laiton faisant corps avec les supports du plateau, et qu'on nomme *conducteur*. Le conducteur est armé de pointes qui soutirent l'électricité accumulée sur le plateau.

barre de fer FG, qui devient par conséquent au électrique, et son électricité s'accroît à mesure qu'(continue à tourner la boule.

Si cette barre communiquait encore avec d'autı corps à pores ouverts, elle y déchargerait bientôt surplus de son éther, et perdrait par là son élect cité; l'éther puisé du coussin serait dispersé par to les corps en liaison entre eux, et sa plus grande coı pression ne serait plus sensible. Pour prévenir (accident, qui ferait échouer tous les phénomènes (l'électricité, il faut nécessairement appuyer ou su pendre la barre par des soutiens d'une matière q ait ses pores bien fermés : de cette nature sont verre, la poix, le soufre, la cire d'Espagne et la so Il sera donc bon d'appuyer la barre sur des soutie de verre ou de poix, ou bien de la suspendre par d cordes faites de soie. C'est donc par ce moyen que barre est mise à l'abri de perdre son éther accumul puisque de tout côté elle n'est environnée que p des corps à pores bouchés, qui n'accordent pr que aucune entrée à l'éther de la barre. Dans cet ét on dit que la barre est *isolée*, ou dégagée de to contact qui lui pourrait dérober son électricité. C pendant V. A. jugera aisément qu'il n'est pas pos ble d'empêcher toute perte; c'est pourquoi l'élect cité d'une telle barre diminue successivement, moins qu'on ne continue à l'entretenir par le mouv ment de la boule.

De cette manière on communique l'électricité une barre de fer, qu'on ne saurait jamais rendre éle trique, quelque peine qu'on se donnât à la frotte

et cela à cause de ses pores ouverts. Et c'est aussi par cette même raison qu'une telle barre, étant devenue électrique par communication, produit des phénomènes beaucoup plus surprenants. Quand on présente à la barre un doigt ou une autre partie du corps, on voit sortir de la barre une étincelle très-brillante en forme d'une aigrette, laquelle entrant dans le corps y cause une piqûre sensible et quelquefois douloureuse. Je me souviens y avoir présenté une fois la tête couverte d'une perruque et d'un chapeau; mais le coup perça si vivement à travers, que j'en ai senti la douleur encore le lendemain.

Ces étincelles, qui échappent partout de la barre en approchant d'elle un corps à pores ouverts, allument d'abord l'esprit-de-vin, et tuent de petits oiseaux dont on présente la tête. Quand on plonge l'autre bout de la chaîne DE dans un bassin rempli d'eau, soutenu par des corps à pores fermés, comme du verre, de la poix et de la soie, toute la quantité d'eau devient électrique; et quelques auteurs assurent avoir électrisé de cette façon des lacs tout entiers, de sorte que quand on y approchait la main, on a vu sortir de l'eau même des étincelles très-piquantes. Mais il me semble qu'il faudrait bien longtemps tourner la boule pour pousser une si grande partie d'éther dans une masse si énorme d'eau; il faudrait aussi que le lit, et tout ce qui environne le lac, ait ses pores bien fermés.

De cette manière, plus les pores d'un corps sont ouverts, et plus est-il propre à recevoir un plus haut degré d'électricité, et à produire des effets

prodigieux. V. A. conviendra que tout cela es très-conforme aux principes que j'ai établis a commencement.

LETTRE XIV.

(18 juillet 1761.)

Sur l'électrisation des hommes et des animaux.

Comme on peut transporter l'électricité du verr dans une barre de fer, par le moyen d'une chaîn qui y établit une communication, on peut de l même manière faire passer l'électricité dans l corps d'un homme, attendu que les corps des ani- maux ont avec les métaux et l'eau cette commun propriété, que leurs pores sont fort ouverts; mai il faut que cet homme ne touche point à d'autre corps dont les pores sont aussi ouverts.

Pour cet effet, on place l'homme sur un gran morceau de poix, ou on le fait asseoir sur un chaise soutenue par des colonnes de verre, ou en- fin on suspend cette chaise par des cordes de soie puisque toutes ces matières ont leurs pores asse fermés pour ne pas laisser échapper l'éther dont le corps de l'homme devient surchargé par l'éle trisation.

Cette précaution est absolument nécessaire; ca si le corps de l'homme était posé sur la terre nue qui a aussi ses pores assez ouverts, dès que l'éthe dans le corps de l'homme serait porté à un plu

haut degré de compression, il se déchargerait aussitôt dans la terre, et il faudrait être en état de surcharger la terre tout entière d'éther, avant que l'homme devînt électrique. Or, V. A. comprend aisément que le coussin dont la boule de verre est frottée ne saurait suffire à fournir une si prodigieuse quantité d'éther; et quand on en voudrait tirer de la terre même, on n'avancerait rien, puisqu'on lui en ôterait d'un côté autant qu'on lui en aurait donné de l'autre.

Ayant donc placé l'homme qu'on veut électriser, comme je viens de l'indiquer, on n'a qu'à lui faire toucher avec la main la boule de verre pendant qu'elle tourne, et l'éther accumulé dans la boule passera aisément dans les pores ouverts de la main, et se répandra par tout le corps; d'où il ne saurait plus échapper si aisément, puisque l'air, et tous les corps dont il est environné, ont leurs pores fermés. Au lieu de le faire toucher la boule avec la main, il suffira aussi qu'il touche la chaîne ou la barre de fer même dont j'ai parlé dans la lettre précédente; mais, dans ce cas, non-seulement l'homme lui-même doit être surchargé d'éther, mais aussi la chaîne avec la barre de fer; et comme cela demande une plus grande quantité d'éther, il faut travailler plus longtemps à faire tourner la boule, pour en fournir suffisamment.

De cette manière l'homme devient tout entier électrique, ou bien tout son corps sera surchargé d'éther, qui y sera porté par conséquent au plus haut degré de compression et d'élasticité, d'où il s'efforcera d'en échapper.

LETTRE XV.

(21 juillet 1761.)

Du caractère distinctif des deux espèces de l'électricité, positive et négative.

V. A. se souvient que non-seulement le verr devient électrique par le frottement, mais qu d'autres matières, comme la cire d'Espagne et l soufre, ont la même propriété, en tant que leu pores sont aussi fermés; de sorte que, soit qu'on fasse passer trop d'éther, ou qu'on les en dépouill d'une partie, elles se conservent pendant quelqu temps dans cet état, sans que l'équilibre soit sitô rétabli.

Ainsi, au lieu d'un globe de verre on se ser aussi de globes de cire d'Espagne ou de soufre qu'on fait tourner autour d'un axe pendant qu'il frottent contre un coussin, de la même manièr que j'ai eu l'honneur d'exposer à l'égard d'un glob de verre. Par ce moyen on rend ces globes égale ment électriques; et en leur appliquant une barr de fer qui ne les touche que par de minces filet ou franges de métal, incapables d'endommager l globe, l'électricité se communique aussitôt à cett barre, d'où on peut ensuite la transmettre en d'au tres corps à volonté.

Cependant on découvre ici une différence bie remarquable. Un globe de verre étant rendu élec

tres représentent autour des têtes des saints. La raison en est assez évidente; car, puisqu'il s'en échappe continuellement quelques parties de l'éther dont le corps est surchargé, et qu'il rencontre dans les pores fermés de l'air beaucoup de résistance, il est mis dans une certaine agitation qui est l'origine de toute la lumière, comme j'ai eu l'honneur de le prouver à V. A.

Mais, dans cet état où l'homme électrisé se trouve, on remarque des phénomènes très-surprenants: quand on le touche, on voit non-seulement sortir du lieu touché des étincelles très-fortes, mais cet homme y souffre encore une douleur très-vive. Aussi, si c'est un autre homme dans son état naturel, ou non électrisé, qui le touche, tous les deux ressentent cette douleur, qui pourrait bien avoir des suites funestes, surtout quand on le touche à la tête, ou dans quelque autre endroit très-sensible. De là V. A. comprend combien peu il nous est indifférent qu'une partie de l'éther contenu dans notre corps s'en échappe, ou qu'il en entre de nouveau, surtout quand cela se fait avec une si prodigieuse rapidité.

Au reste, la lumière dont on voit entouré un homme électrisé dans l'obscurité, confirme admirablement ce que j'ai eu l'honneur de dire sur l'atmosphère électrique qui environne tous les corps; et V. A. ne trouvera plus aucune difficulté sur la plupart des phénomènes électriques, quelque inexplicables qu'ils paraissent à d'autres.

LETTRE XV.

(21 juillet 1761.)

Du caractère distinctif des deux espèces de l'électricité, positive et négative.

V. A. se souvient que non-seulement le verre devient électrique par le frottement, mais que d'autres matières, comme la cire d'Espagne et le soufre, ont la même propriété, en tant que leurs pores sont aussi fermés; de sorte que, soit qu'on y fasse passer trop d'éther, ou qu'on les en dépouille d'une partie, elles se conservent pendant quelque temps dans cet état, sans que l'équilibre soit sitôt rétabli.

Ainsi, au lieu d'un globe de verre on se sert aussi de globes de cire d'Espagne ou de soufre, qu'on fait tourner autour d'un axe pendant qu'ils frottent contre un coussin, de la même manière que j'ai eu l'honneur d'exposer à l'égard d'un globe de verre. Par ce moyen on rend ces globes également électriques; et en leur appliquant une barre de fer qui ne les touche que par de minces filets, ou franges de métal, incapables d'endommager le globe, l'électricité se communique aussitôt à cette barre, d'où on peut ensuite la transmettre en d'autres corps à volonté.

Cependant on découvre ici une différence bien remarquable. Un globe de verre étant rendu élec-

trique de cette façon, devient surchargé d'éther, et la barre de fer, ou d'autres corps qu'on y met en communication, en acquièrent une électricité de même nature, ou bien l'éther s'y trouve dans une trop grande compression, dont l'élasticité est augmentée. Cette électricité est nommée positive, ou électricité en plus. Mais quand on traite de la même manière un globe de cire d'Espagne ou de soufre, il en naît une électricité directement contraire, qu'on nomme négative ou électricité en moins, puisqu'on remarque que par le frottement ces globes deviennent dépouillés d'une partie d'éther renfermé dans leurs pores.

V. A. sera surprise de voir comment le même frottement peut produire des effets tout à fait opposés; mais cela dépend de la nature des corps frottants et frottés, et de la roideur de leurs moindres particules qui contiennent les pores. Pour expliquer la possibilité de cette différence, il est d'abord évident que lorsque deux corps sont fortement frottés l'un contre l'autre, les pores de l'un doivent ordinairement souffrir une plus grande compression que ceux de l'autre, et alors l'éther contenu dans les pores qui souffrent une plus grande compression est exprimé et forcé de s'insinuer dans les pores de l'autre corps, qui sont moins comprimés.

Cela posé, il faut dire que, dans le frottement du verre par un coussin, les pores du coussin souffrent une plus grande compression que ceux du verre, et que par conséquent l'éther du cous-

sin passe dans le verre, et y produit une électricit positive ou en plus, comme j'ai déjà eu l'honneu de l'expliquer à V. A. Mais quand on substitue u globe de cire d'Espagne ou de soufre au lieu d verre, ces matières étant susceptibles d'une plu grande compression dans leurs pores que la matièr du coussin dont on les frotte, une partie de l'éthe contenue dans ces globes en sera exprimée, et obli gée d'entrer dans le coussin, d'où ces globes de cir d'Espagne ou de soufre seront dépouillés d'un partie de leur éther, et obtiendront par conséquen une électricité négative ou en moins.

De la même nature est l'électricité que reçoit un barre de fer ou de métal, mise en communicatio avec un globe de cire d'Espagne ou de soufre; e de telle nature sera aussi l'électricité qu'on com munique à un homme placé sur une masse de poix ou suspendu par des cordes de soie. Quand o touche un tel homme ou autre corps électrisé d cette manière, ayant ses pores ouverts, on y ob serve à peu près les mêmes phénomènes que dan le cas de l'électricité positive ou en plus. L'atta chement y est aussi accompagné d'une étincelle e d'une piqûre de part et d'autre. La raison en es évidente; car l'éther, qui s'échappe ici des corp qui se trouvent dans leur état naturel pour entre dans les corps électrisés, étant gêné, doit être ac compagné d'une agitation qui cause la lumière. Ce pendant on remarque une sensible différence dans la figure de l'étincelle, selon que l'électricité est positive ou négative.

Si la barre AB (*fig.* 8) a une électricité positive et qu'on lui présente le doigt C, la lumière qui sort de la barre paraît sous la forme d'une aigrette *mn*, et auprès du doigt on voit en *p* un point lumineux.

Mais si la barre AB (*fig.* 9) a une électricité négative, et qu'on lui présente le doigt C, c'est du doigt que sort l'aigrette lumineuse *mn*, et on voit le point lumineux *p* auprès de la barre.

Voilà le principal caractère par lequel on distingue l'électricité positive de la négative. Toujours où l'éther s'échappe, l'étincelle a la figure d'une aigrette; mais où l'éther entre dans un corps, l'étincelle est un point lumineux.

LETTRE XVI.

(25 juillet 1761.)

Comment le même globe de verre peut fournir l'une et l'autre espèce d'électricité à la fois.

V. A. comprendra mieux la différence entre l'électricité positive et négative, quand j'aurai l'honneur de lui expliquer comment on peut produire par un seul globe de verre l'une et l'autre espèce d'électricité, ce qui servira en même temps à mieux éclaircir ces admirables phénomènes de la nature.

Soit AB (*fig.* 10) le globe de verre tourné autour de son axe C et frotté par le coussin D, vis-à-vis duquel le globe est touché par des franges de

métal F, attachées à la barre de fer FG, suspen
due par des cordes de soie H et I, afin que la barr
ne touche nulle part à des corps à pores ouverts.

Cela posé, V. A. sait que, par le frottement cont
le coussin D, l'éther passe du coussin dans le verr
où il devient plus comprimé et par conséquent plu
élastique ; de là il passera donc par les franges
dans la barre de fer FG ; car quoique les pores d
verre soient assez fermés, puisque l'éther s'accu
mule dans le globe de plus en plus par le frotte
ment, il devient bientôt si surchargé, qu'il s'
échappe par les franges de métal pour se décha
ger dans la barre, d'où celle-ci devient égalemen
électrique.

De là V. A. voit que tout ce superflu d'éther es
fourni par le coussin, qui en serait bientôt dépouill
s'il n'avait point une libre communication avec l'é
chafaudage qui soutient la machine, et par là ave
la terre tout entière, d'où le coussin est à chaqu
instant de nouveau rempli d'éther ; de sorte qu
tant que le frottement dure, il en a copieusemen
pour comprimer davantage celui qui se trouve dan
le globe et la barre. Mais si toute la machine n
pose sur des piliers de verre comme M et N, o
qu'elle soit suspendue par des cordes de soie, d
sorte que le coussin n'ait aucune communicatio
avec des corps à pores ouverts, d'où le défaut d'é
ther y puisse être suppléé, le coussin sera bientô
dépouillé de son éther, et l'électricité dans le glob
et la barre ne saurait être portée au delà d'un cer
tain degré, qui sera à peine sensible, à moins qu

le coussin ne soit d'un volume prodigieux. Pour suppléer à ce défaut, on met le coussin D en communication avec une grande masse de métal E, dont l'éther soit suffisant pour en fournir assez au globe et à la barre, et y porter l'éther à un si haut degré de compression.

Par ce moyen on procurera au globe et à la barre une électricité positive, comme j'ai eu l'honneur de l'expliquer à V. A. Mais à mesure que le globe et la barre deviennent surchargés d'éther, le coussin et la masse métallique E en perdent précisément autant, et acquièrent par là une électricité négative; de sorte que nous avons ici à la fois les deux espèces d'électricité : la positive dans la barre, et la négative dans la masse métallique. L'une et l'autre produit son effet conformément à sa nature. Quand on présente le doigt à la barre, il sortira de la barre une étincelle en forme d'aigrette, et on verra un point lumineux au doigt; mais si l'on présente le doigt à la masse métallique, l'aigrette sortira du doigt, et on verra le point lumineux à la masse.

Concevons aussi deux hommes placés sur des masses de poix pour les mettre hors de toute communication avec des corps à pores ouverts; que l'un touche à la barre et l'autre à la masse métallique, pendant que la machine est mise en action; il est clair que le premier qui touche à la barre deviendra électrique positivement, ou surchargé d'éther, pendant que l'autre, qui touche à la masse métallique, acquerra une électricité négative, et sera dépouillé de son éther.

Voilà donc deux hommes l'un et l'autre électr
ques, mais d'une nature tout à fait contraire, quo
qu'ils aient été rendus électriques par la mên
machine. L'un et l'autre sera entouré d'une atm
sphère électrique, qui dans l'obscurité paraîtra sou
la forme d'une lueur à peu près comme les peintr
représentent les saints : la raison en est, que c
l'un l'éther superflu échappe insensiblement da
l'air environnant, et qu'à l'égard de l'autre, l'éth
contenu dans l'air s'insinue insensiblement da
son corps. Ce passage, quoique insensible, sera a
compagné d'une agitation d'éther, d'où résulte
lumière.

Il est clair que ces deux électricités sont direct
ment opposées; mais pour s'en convaincre, ces deu
hommes n'ont qu'à se donner les mains ou se tou
cher seulement, et on verra sortir d'eux des étincell
très-fortes, et eux-mêmes ressentiront des douleu
très-vives.

Si ces deux hommes étaient électrisés de la mêm
espèce, ce qui arriverait si tous les deux touchaie
ou la barre ou la masse métallique, ils pourraie
se toucher impunément, sans la moindre marqu
d'étincelle et de douleur, puisque l'éther conten
dans tous les deux se trouverait dans le même éta
tandis que dans l'autre cas leur état est tout à fa
contraire.

LETTRE XVII.

(28 juillet 1761.)

Sur l'expérience de Leyde.

Je vais entretenir maintenant V. A. sur un phénomène tout à fait singulier de l'électricité, qui a fait bien du bruit, et qui est connu sous le nom de la fameuse expérience de Leyde, puisque M. Muschenbroeck, professeur à Leyde, en est l'inventeur. Le singulier de cette expérience consiste dans la force terrible qui en résulte, et dont plusieurs personnes à la fois peuvent sentir les coups les plus rudes.

La *fig.* 11 mettra V. A. en état de comprendre la nature de cette expérience curieuse. C est le globe de verre tourné par le moyen de la manivelle E, et frotté par le coussin DD pressé contre le globe par le ressort O. En Q sont les franges métalliques qui transmettent l'électricité dans la barre de fer FG par la chaîne métallique P.

Jusqu'ici rien ne diffère de la manœuvre que j'ai déjà quelquefois eu l'honneur de décrire à V. A. Mais pour exécuter l'expérience dont il s'agit ici, on attache à la barre encore une autre chaîne de métal H, dont on fait entrer l'autre bout I dans un madras de verre KL, rempli d'eau, et le matras même est posé dans un bassin LL également rempli d'eau. On enfonce dans l'eau du bassin encore une autre

chaîne A, quand on veut, dont l'autre bout traîne sur le plancher.

Maintenant, ayant fait mouvoir la machine pen- dant quelque temps pour que la barre devienne suf fisamment électrique, V. A. sait que si quelqu'u présentait son doigt au bout de la barre en *a*, il e ressentirait le coup ordinaire de l'électricité par l'é tincelle qui en sort. Mais si ce même homme me tait en même temps l'autre main dans l'eau du bassi en A, ou qu'il touchât seulement de son corps l chaîne plongée dans cette eau, il ressentirait u coup incomparablement plus rude, qui lui causerai des secousses par tout le corps.

On peut même faire sentir ces mêmes secouss à plusieurs personnes à la fois : ces personnes n'o qu'à se donner les mains, ou il suffit même qu'elle se touchent par leurs habits ; alors la première pe sonne met sa main dans l'eau du bassin, ou touch seulement la chaîne dont un bout y est plongé ensuite, dès que la dernière personne présente l doigt à la barre, on en voit sortir une étincelle beau coup plus forte qu'à l'ordinaire, et toutes les per sonnes sont frappées au même instant de coup très-rudes par tout leur corps.

Voilà la fameuse expérience de Leyde, qui e d'autant plus surprenante, qu'il est difficile de voi de quelle manière le matras et l'eau du bassin con tribuent à renforcer si terriblement l'effet de l'élec tricité. Pour surmonter cette difficulté, j'aura l'honneur de faire là-dessus les réflexions sui vantes.

I.

Pendant que, par l'action de la machine, l'éther est comprimé dans la barre, il passe par la chaîne H jusque dans l'eau contenue dans le matras I; et puisqu'il y rencontre des pores ouverts, l'eau du matras deviendra aussi bien surchargée d'éther que la barre même.

II.

Or, le matras étant de verre, il a ses pores fermés, qui ne permettent pas à l'éther comprimé en dedans de traverser la substance du verre, pour se décharger dans l'eau de dehors contenue dans le bassin, et par conséquent l'eau du bassin demeure dans son état naturel, et ne deviendra pas électrique; et quand même quelque éther en échapperait à travers le verre, il se perdrait bientôt dans le bassin et le piédestal dont les pores sont ouverts.

III.

Considérons maintenant un homme tenant une main dans l'eau du bassin, ou touchant seulement la chaîne A, dont un bout est plongé dans cette eau; qu'il présente maintenant l'autre main vers la barre en *a*, il en résultera pour premier effet qu'avec l'étincelle qui sort de la barre, l'éther échappera très-rapidement de la barre et traversera le corps de l'homme librement, y trouvant partout des pores ouverts.

IV.

Jusqu'ici on ne voit que l'effet ordinaire de l'é-

lectricité; mais pendant que l'éther traverse si ra pidement le corps de l'homme, il en sort avec ur semblable rapidité par l'autre main, ou par la chaîr A, pour se dégorger dans l'eau du bassin; et pui qu'il y entre avec une si grande impétuosité, vaincra aisément l'obstacle qu'oppose le verre, pénétrera jusque dans l'eau contenue dans le matra

V.

Or, l'eau dans le matras contenant déjà un éth trop comprimé, il acquerra par ce surcroît de no velles forces, et se répandra avec impétuosité ta par la chaîne IH que par la barre même : par co séquent il en échappera en *a* avec de nouveau efforts; et comme cela se fait dans un instant, entrera avec une augmentation de forces dans doigt, pour traverser le corps de l'homme.

VI.

De là, passant de nouveau dans l'eau du bassi et ensuite pénétrant le matras, il augmentera enco l'agitation de l'éther comprimé dans l'eau du matr et de la barre; et cela durera jusqu'à ce que tout so remis en équilibre; ce qui se fera bien vite, à cau de la grande rapidité dont l'éther agit.

VII.

La même chose aura lieu, si on emploie plusieu personnes; et maintenant V. A. comprend aisémen à ce que j'espère, d'où vient cette surprenante au mentation de la force de l'électricité dans cett

expérience de Muschenbroeck, qui est capable de produire des effets si prodigieux.

VIII.

S'il y avait encore quelque doute sur ce que j'ai dit d'abord, que l'éther comprimé dans l'eau du matras ne saurait pénétrer par le verre, et que dans la suite je lui ai supposé un passage assez libre : tout ce doute s'évanouira par la considération que dans le premier cas tout est tranquille, et que, dans le dernier, l'éther se trouve dans une terrible agitation, ce qui doit sans doute beaucoup contribuer à forcer les passages les plus fermés (1).

(1) L'*expérience de Leyde* ne se fait plus de la manière décrite par l'auteur, et la théorie qu'il en donne est absolument sans valeur. La véritable explication se trouve dans tous les traités de physique. Pour en donner une idée au lecteur, considérons deux corps conducteurs A, B, séparés par une lame mince

$m\,m'$
A B
$n\,n'$

$m\,n\,m'n'$ d'une substance non conductrice de l'électricité, telle que le verre. Le corps A communique avec le conducteur de la machine, chargé d'électricité positive; le corps B est en communication avec le sol. En vertu de la communication avec le conducteur, la surface *mn* du corps A se charge d'une couche d'électricité positive. Cette couche, agissant par influence sur le fluide naturel de B, le décompose, repousse dans le sol une certaine quantité d'électricité positive, en retenant à la surface $m'n'$ une couche d'électricité négative. La quantité d'électricité négative, ainsi retenue en $m'n'$, est moindre que celle qu'il faudrait pour neutraliser, au contact immédiat, la quan-

tité d'électricité positive retenue en *mn;* mais elle en diffère d'autant moins que l'épaisseur de la lame non conductrice est plus petite. Or, cette électricité négative, par sa présence en *m'n'*, combat et neutralise partiellement l'action de l'électricité positive, située en *mn*. Celle-ci n'a plus la force suffisante pou repousser l'électricité positive qui tend à se répandre, du conducteur de la machine, sur toutes les surfaces avec lesquelle ce conducteur est en communication. En conséquence, un nouvelle quantité d'électricité positive arrive du conducteu sur la surface *mn*, décompose une nouvelle quantité du fluid naturel de B, refoule dans le sol l'électricité positive, fixe à l surface *m'n'* une nouvelle quantité d'électricité négative, dor l'action à distance permet encore à une nouvelle quantité d fluide positif de venir s'accumuler sur la surface *mn*, et ainsi d suite : les décompositions successives s'opérant sur des quantit de plus en plus petites, jusqu'à ce que l'équilibre se soit établ

Quand l'équilibre a lieu, toute l'électricité négative fixée à l surface *m'n'* est *latente* ou *dissimulée* par l'action contraire d l'électricité positive fixée en *mn*. La plus grande portion d celle-ci est également latente. La portion non latente est cell dont la surface *mn* se serait chargée, en vertu de la communi cation avec le conducteur, sans la présence du corps B.

Si l'on met soudainement en communication, par un corp conducteur, les surfaces des corps A et B, les électricités la tente, positive et négative, se recomposent avec commotio L'intensité de la commotion dépend de la quantité d'électrici latente, qui surpasse beaucoup, quand la lame de séparation e suffisamment mince, la quantité d'électricité non dissimulée en *m*

L'explication serait la même, quant au fond, dans l'hypo thèse d'un fluide unique. Ainsi, l'excès d'électricité en *mn*, re sultant de la communication avec le conducteur, déterminera l'expulsion d'une certaine quantité d'électricité hors de la couch *m'n'*, ce qui changerait les conditions de l'équilibre électriqu dans le corps A, et permettrait à une nouvelle charge d'éle tricité de venir s'accumuler en *mn*. Il n'est pas nécessaire d suivre plus loin les détails de cette explication retournée.

On peut donner à la lame isolante *mn m'n'* une courbure quelconque; lui donner, par exemple, la forme d'une bouteille, et appliquer au verre, tant intérieurement qu'extérieurement, une plaque ou *garniture* métallique, pour tenir lieu des corps conducteurs A et B : on a alors l'appareil connu sous le nom de *bouteille de Leyde*, à cause de l'expérience faite à Leyde, en 1746, par Cuneus et Muschenbroeck. Mais le texte d'Euler nous montre que, quinze ans plus tard, l'expérience se pratiquait encore différemment. L'eau du matras tient lieu du corps conducteur A, et l'eau du bassin remplace le corps B; le verre du matras est la lame isolante *mn m'n'*.

LETTRE XVIII.

(1er août 1761.)

Réflexions sur la cause et la nature de l'électricité, et sur les autres moyens propres à produire l'électricité.

Après ces éclaircissements, V. A. ne sera plus en peine sur la cause des effets prodigieux qu'on observe dans les phénomènes de l'électricité.

La plupart des auteurs qui en ont écrit embrouillent tellement les expériences, qu'à la fin on n'y comprend absolument rien, et surtout quand ils veulent en donner une explication. Tous ont recours à une certaine matière subtile qu'ils nomment le fluide électrique, auquel ils attribuent des qualités si bizarres, que notre esprit en est tout à fait révolté; et au bout du compte ils sont obligés d'avouer que tous leurs efforts ne sont rien moins que suffisants pour nous procurer une connaissance solide de ces phénomènes importants de la nature.

Mais de ce que j'ai eu l'honneur de développer à V. A., il est clair que les corps ne deviennent électriques qu'en tant que l'élasticité, ou l'état de compression de l'éther qui se trouve dans les pores des corps, n'est pas en équilibre, ou lorsqu'il est dans quelques-uns plus ou moins comprimé que dans les autres. Car alors la prodigieuse élasticité dont l'éther est doué fait de grands efforts pour se remettre en équilibre, et pour se rétablir partout au même degré d'élasticité, autant que la nature des pores, qui dans les divers corps sont plus ou moins ouverts, le permet; et c'est toujours la restitution actuelle en équilibre qui produit les phénomènes de l'électricité.

Quand l'éther s'échappe d'un corps où il est plus comprimé, pour se décharger dans un autre où sa compression est moindre, ce passage se trouve toujours gêné par les pores fermés de l'air, et de là vient qu'il est mis dans une certaine agitation ou mouvement violent de vibration, en quoi nous avons vu que consiste la lumière; et plus ce mouvement est violent, plus la lumière devient brillante, et même capable d'allumer et brûler les corps.

Ensuite, pendant que l'éther pénètre l'air avec une si grande violence, les particules de l'air en sont mises aussi dans un mouvement de vibration qui est la propre cause du son; aussi observe-t-on que les phénomènes de l'électricité sont accompagnés d'un craquement, ou de quelque bruit plus ou moins grand, selon la diversité des circonstances.

Outre cela, puisque les corps des hommes et des animaux sont remplis d'éther dans leurs moindres pores, et que surtout l'action des nerfs semble dépendre de l'éther qui y est contenu, les hommes et les animaux ne sauraient être indifférents à l'égard de l'électricité; et quand l'éther y est mis dans une grande agitation, l'effet y doit être sensible, et, selon les circonstances, tantôt salutaire, tantôt nuisible. A cette dernière classe il faut sans doute rapporter les terribles secousses de l'expérience de Leyde, et il n'y a aucun doute qu'on ne la puisse porter à un degré de force qui fût capable de tuer les hommes : car c'est par ce moyen qu'on a déjà effectivement tué quantité de petits animaux, comme des souris et des oiseaux.

Quoiqu'on se serve ordinairement du frottement pour produire l'électricité, V. A. comprendra aisément qu'il y a encore d'autres moyens propres à ce dessein. Tout ce qui est capable de porter l'éther contenu dans les pores d'un corps à un plus grand ou à un plus petit degré de compression qu'à l'ordinaire, rend ce corps en même temps électrique, et si ses pores sont fermés, l'électricité y sera de quelque durée; au lieu que dans les corps dont les pores sont ouverts, elle ne saurait subsister, à moins qu'ils ne soient tout autour environnés d'air, ou d'autres corps dont les pores sont fermés.

C'est ainsi qu'on a observé que la chaleur supplée souvent au frottement : quand on laisse chauffer ou fondre de la cire d'Espagne ou du soufre

dans une cuiller, après le refroidissement on découvre une électricité très-sensible dans ces matières : la raison ne nous en doit plus être cachée, puisque nous savons que la chaleur élargit les pores de tous les corps. En effet, nous voyons que tous les corps, étant chauffés, occupent un plus grand volume que quand ils sont froids.

V. A. sait que le mercure dans un thermomètre monte dans la chaleur et descend dans le froid ; c'est que le mercure, lorsqu'il est chaud, occupe un plus grand volume, ou remplit un plus grand espace dans le verre, que quand il est plus froid. Par la même raison on trouve qu'une barre de fer bien chauffée est toujours un peu plus longue que lorsqu'elle est froide : cette propriété est commune à tous les corps que nous connaissons.

Donc, quand nous fondons sur le feu une masse de cire d'Espagne ou de soufre, les pores en sont élargis, et probablement plus ouverts ; il faut donc qu'une plus grande quantité d'éther y entre pour remplir ces pores. Ensuite, quand on laisse refroidir ces matières, les pores se rétrécissent et se ferment en même temps, de sorte que l'éther y est réduit dans un moindre espace, et par conséquent forcé à un plus haut degré de compression ; d'où son ressort est augmenté : ces masses acquerront donc une électricité positive, et elles en montrent aussi les effets.

On remarque une semblable propriété dans la plupart des pierres précieuses, qui étant chauffées

deviennent électriques. Il y a même une pierre de Ceylan, nommée *tourmalin* (1), qui, étant frottée ou chauffée, acquiert les deux espèces d'électricité à la fois : c'est que l'éther d'une partie de la pierre est chassé, pour comprimer davantage celui qui est dans l'autre partie; et les pores sont trop fermés pour permettre le rétablissement en équilibre.

LETTRE XIX.

(4 août 1761.)

Sur la nature du tonnerre (explications des anciens philosophes et de Descartes), et sur la ressemblance entre les phénomènes du tonnerre et ceux de l'électricité.

Jusqu'ici je n'ai considéré l'électricité qu'en tant qu'elle est un objet de notre curiosité et de la spéculation des physiciens mais à présent V. A. ne verra pas sans surprise, que le tonnerre et la foudre, avec tous les phénomènes terribles qui les accompagnent, tirent leur origine du même principe, et que la nature opère ici en grand ce que les physiciens exécutent en petit par leurs expériences.

D'abord on a regardé ces philosophes comme des visionnaires qui se sont imaginé de trouver quelque ressemblance entre les phénomènes du tonnerre et ceux de l'électricité, et l'on a cru qu'ils ne faisaient cela que pour couvrir leur ignorance par rapport

(1) On dit maintenant *tourmaline*.

à la cause du tonnerre; mais V. A. sera bientôt persuadée que jamais conjecture ne fut mieux fondée et que toutes les autres explications de ces gran des opérations de la nature sont destituées de tou fondement.

En effet, tout ce qu'on a avancé là-dessus avai la connaissance de l'électricité était enveloppé dan la plus grande absurdité, et n'était pas capable d nous éclaircir sur le moindre phénomène du ton nerre.

Les anciens philosophes en attribuèrent la caus aux vapeurs sulfureuses et bitumineuses qui mon taient de la terre dans l'air, et se mêlaient avec le nuages, où elles s'allumaient par quelque caus inconnue.

Descartes, qui connut bientôt l'insuffisance d cette explication, imagina une autre cause dans le nuages mêmes, et crut que le tonnerre était pro duit lorsque les nuages plus élevés tombaient su bitement sur d'autres plus bas; que par cette chut l'air contenu entre eux était comprimé au point d causer un si grand bruit, et de produire même le éclairs et la foudre, quoiqu'il lui fût impossibl d'en montrer la possibilité.

Mais, sans arrêter V. A. à de fausses explication qui n'aboutissent à rien, je me hâte de lui appren dre qu'on a découvert des preuves incontestable pour nous convaincre que les phénomènes du ton nerre sont toujours accompagnés des marques le plus évidentes de l'électricité.

On place une barre de fer ou d'autre métal su

un pilier de verre ou de quelque autre matière qui ses pores fermés, afin que, quand la barre devient lectrique, l'électricité n'en puisse échapper ou se ommuniquer avec le corps qui soutient la barre. lors dès qu'un orage s'élève, et que les nuages rêts à tonner avancent jusqu'au-dessus de la barre, n y découvre une très-forte électricité, qui surasse ordinairement beaucoup celle qu'on est caable de produire par l'art; de sorte que si l'on approche la main ou quelque autre corps à pores uverts, on y voit éclater non une étincelle, mais nême un éclair très-vif, avec un bruit semblable u tonnerre, dont l'homme qui y prête sa main eçoit un coup si violent, qu'il ne saurait le souteir. Cela passe la curiosité, et on a bien raison l'être sur ses gardes, et de ne pas s'approcher de a barre dans le temps d'un orage.

Un professeur à Pétersbourg, nommé Richmann, ous en a fourni un triste exemple. Dès qu'on s'est perçu d'une liaison si étroite entre les phénomèes du tonnerre et ceux de l'électricité, ce malheueux physicien, pour s'en mieux assurer par les xpériences, a élevé une barre de fer sur le toit de a maison, enchâssée en bas dans un tuyau de verre, t soutenue encore par une masse de poix. Il attaha à la barre un fil d'archal, qu'il conduisit jusque dans sa chambre, afin que, dès que la barre deviendrait électrique, l'électricité se communiquât librement avec le fil d'archal, et qu'il en pût éprouver les effets dans sa chambre. V. A. comprend bien que ce fil d'archal a été conduit par

des trous, de façon qu'il n'a touché nulle part des matières à pores fermés, comme du verre, la poix ou de la soie, afin que l'électricité n'en échapper.

Dans cette disposition il attendit un orage, arriva bientôt pour son malheur. On entendit ner de loin; M. Richmann fut fort attentif sur fil d'archal, pour voir s'il n'y découvrait point q que marque d'électricité. Comme l'orage s'ap chait davantage, il jugea bien qu'il fallait pren quelque précaution, et ne pas s'approcher témé rement du fil; mais par mégarde il y approcha peu son front, et en reçut un coup si terrible, a un grand éclat, qu'il en tomba roide mort.

Vers le même temps, feu M. le docteur Lieb kuhn et M. le docteur Ludolf voulurent faire de semblables expériences, et avaient fixé au dans cette vue, des barres de fer sur leurs maiso mais dès qu'ils furent avertis du désastre de Richmann, ils se sont hâtés d'ôter les barres leurs maisons, et je crois qu'ils ont agi fort sa ment.

V. A. jugera par là très-aisément que l'air mosphérique doit devenir très-électrique dans temps d'un orage, ou que l'éther y doit être pc à un très-haut degré de compression. Cet ét dont l'air est surchargé passera dans la barre cause de ses pores ouverts, et la rendra électriq comme si elle était électrisée par la méthode or naire, mais dans un degré beaucoup plus haut.

LETTRE XX.

(8 août 1761.)

Explication des phénomènes de l'éclair et du tonnerre.

Les expériences dont je viens de parler prouvent donc incontestablement que les nuages orageux sont extrêmement électriques, et par conséquent leurs pores ou surchargés ou dépouillés d'éther, puisque l'un et l'autre état convient également à l'électricité. Mais j'ai des raisons bien fortes qui me persuadent que cette électricité est positive, et que l'éther y est comprimé à un plus haut degré, et conséquemment d'autant plus élastique qu'ailleurs.

Ordinairement de tels orages n'arrivent qu'après de grandes chaleurs : alors les pores de l'air et des vapeurs qui y voltigent sont extrêmement élargis, et remplis d'une prodigieuse quantité d'éther, qui, à ce que V. A. sait, occupe aisément tous les espaces vides d'autres matières. Mais quand les vapeurs s'assemblent dans les régions supérieures de notre atmosphère pour y former des nuages, elles y rencontrent un très-grand froid. C'est de quoi on ne saurait douter, à cause de la grêle qui se forme souvent dans ces régions, ce qui prouve suffisamment une congélation ; outre cela, il est très-certain, que, quelque chaud qu'il fasse ici-bas, il règne en haut toujours un très-grand froid. Ce froid est aussi la raison que les hautes montagnes sont tou-

jours couvertes de neige; et même au Pérou, qui est le pays le plus chaud de la terre, les sommets des hautes montagnes connues sous le nom de Cordilières ne contiennent que de la neige et de la glace.

Rien n'est donc plus certain et mieux établi que le grand froid qui règne partout en haut de notre atmosphère, où les nuages se forment. Or, il est également certain que le froid rétrécit les pores des corps, en les réduisant à un plus petit volume donc, puisque les pores des vapeurs ont été extrêmement élargis par la chaleur, aussitôt qu'elles forment en haut des nuages, les pores y seront rétrécis; et en tant que l'éther qui les remplissait n'en peut pas échapper, parce que les pores de l'air sont presque tout à fait bouchés, il faut bien que l'éther y reste, et qu'il y soit comprimé à un beaucoup plus haut degré de densité, d'où son ressort sera d'autant plus augmenté.

Voilà donc le véritable état des nuages orageux : c'est que l'éther contenu dans leurs pores est beaucoup plus élastique qu'à l'ordinaire, ou bien que les nuages ont une électricité positive ou en plus Comme les nuages ne sont qu'un amas de vapeurs humides, leurs pores sont bien ouverts ; mais puisqu'ils sont entourés de l'air dont les pores sont bien fermés, cet éther comprimé dans les nuages n'en saurait échapper qu'assez insensiblement. Mais si quelque personne ou quelque autre corps à pores ouverts approchait d'un tel nuage, on y remarquerait les mêmes phénomènes que l'électricité nous

fait voir : une étincelle en sortirait, mais ce serait une étincelle bien forte, ou plutôt un éclair réel. Outre cela, le corps en éprouverait un coup très-rude, à cause de l'impétuosité avec laquelle l'éther du nuage entrerait dans les pores du corps. Cette violence pourrait bien détruire la structure du corps : et enfin la terrible agitation de l'éther qui échappe du nuage étant non-seulement une lumière, mais aussi un vrai feu, elle serait capable d'allumer et brûler les corps combustibles.

V. A. reconnaîtra ici le vrai phénomène de la foudre; et pour le bruit du tonnerre, la cause en est très-manifeste, puisque l'éther ne saurait être mis dans une si terrible agitation, sans que l'air lui-même n'en reçoive les plus vives secousses, qui, le mettant dans un grand ébranlement, doivent nécessairement produire un grand bruit. Le tonnerre éclate donc toutes les fois que la force de l'éther contenu dans les nuages peut pénétrer jusqu'à un corps où l'éther se trouve dans son état naturel, et dont les pores sont ouverts; il n'est pas même nécessaire que ce corps touche le nuage immédiatement.

Ce que j'ai dit sur les atmosphères des corps électrisés a principalement lieu dans les nuages électriques; et quelquefois dans le temps d'un orage nous sentons cette atmosphère électrique par un air étouffant, auquel certaines personnes sont très-sensibles. Ensuite, dès qu'un tel nuage commence à se résoudre en pluie, l'air, en devenant humide, est chargé d'une semblable électricité, par laquelle

le coup électrique peut être porté à des corps for
éloignés.

On observe que la foudre frappe très-aisémen
les corps fort élevés, comme les sommets des clo
chers quand ils sont faits d'une matière à pore
ouverts, comme de métal; et une forme pointu
n'y contribue pas peu. La foudre frappe aussi ais
ment dans l'eau, dont les pores sont aussi trè
ouverts; mais les pores à corps fermés, comme l
verre, la poix, le soufre et la soie, ne sont guèr
sujets au tonnerre, à moins qu'ils ne soient for
mouillés. Aussi observe-t-on que quand la foudr
passe par une fenêtre, elle ne pénètre pas par l
verre, mais toujours par le plomb dont les carreau
sont joints ensemble. On pourrait presque assure
qu'une telle maison de verre, liée avec de la poix e
d'autres matières à pores fermés, nous mettrait à
l'abri des effets de la foudre.

LETTRE XXI.

(11 août 1761.)

Suite de cette explication.

Le tonnerre et la foudre ne sont donc autre chos
que l'effet de l'électricité dont les nuages sont doués
et comme un corps électrisé, lorsqu'il approch
d'un autre corps qui se trouve dans son état natu
rel, y lance une étincelle avec quelque bruit, et s
décharge le superflu de son éther avec une grand
impétuosité, la même chose arrive dans un nuag

électrique ou surchargé d'éther, mais avec une force incomparablement plus grande, à cause de la terrible masse électrisée, et où, selon toute apparence, l'éther est réduit à un beaucoup plus haut degré de compression que nous ne sommes en état de le porter par nos machines électriques.

Donc, lorsqu'un tel nuage approche des corps propres pour s'y décharger de son éther, cette décharge doit se faire avec une terrible violence : au lieu d'une simple étincelle, l'air sera pénétré d'un grand éclair, lequel ébranlant l'éther contenu dans toute la région voisine de l'atmosphère, y produit une lumière très-vive; et c'est en quoi consiste l'éclair.

Or, en même temps, l'air lui-même est mis dans une très-forte agitation, accompagnée d'un mouvement de vibration, d'où résulte le bruit du tonnerre : ce bruit arrive bien en même temps que l'éclair, mais V. A. sait que le son demande toujours un certain temps pour être transmis à une certaine distance, et que le son ne parcourt, chaque seconde, qu'un espace d'environ mille pieds, pendant que la lumière se communique avec une vitesse incomparablement plus grande; et c'est pourquoi nous entendons le tonnerre toujours plus tard que nous ne voyons l'éclair : et, par le nombre de secondes qui s'écoulent depuis l'éclair jusqu'à ce que nous entendions le tonnerre, nous pouvons juger de la distance où le tonnerre est engendré, en comptant mille pieds pour chaque seconde.

Le corps même dans lequel l'électricité du nua
se décharge en reçoit le coup le plus rude, dont
est mis tantôt en pièces, tantôt allumé et brûlé, s
est combustible, tantôt fondu, si c'est un métal;
de ce corps on dit qu'il est frappé de la foudr
dont les effets, quelque surprenants et bizarr
qu'ils paraissent, se trouvent parfaitement bien d'a
cord avec les phénomènes connus de l'électricité.

Quelquefois on a vu une épée fondue dans
fourreau par la foudre, sans que le fourreau f
endommagé : la raison en est évidemment dans l
pores ouverts du métal, où l'éther pénètre aiséme
et y exerce ses efforts, pendant que la matière
fourreau tient plus à la nature des corps à por
fermés, qui ne permettent pas une entrée si libre
l'éther.

Quelquefois on a vu que, de plusieurs homm
sur lesquels la foudre est tombée, il n'y en eut q
quelques-uns qui en furent frappés, pendant q
d'autres, qui se trouvaient au milieu de ceux-l
n'en ont rien souffert. La cause de ce phénomè
est aussi manifeste. Parmi ces hommes, ceux
sont dans le plus grand danger, aux environs d
quels l'air est le plus surchargé d'éther; donc, d
que cet éther se décharge dans un homme, to
l'air voisin en est réduit dans son état naturel,
par conséquent les hommes qui sont les plus pr
ches de ce malheureux n'éprouvent aucun eff
tandis que d'autres qui en sont plus éloignés,
l'air est encore suffisamment surchargé d'éthe
sont frappés du même coup de foudre.

Enfin, toutes les circonstances bizarres qu'on nous raconte souvent des effets de la foudre ne contiennent rien qu'on ne puisse aisément accorder avec la nature de l'électricité.

Il y a eu des philosophes qui ont soutenu que la foudre ne venait point des nues, mais de la terre ou des corps terrestres. Quelque bizarre que paraisse ce sentiment, il n'est pas si absurde, puisque, dans les phénomènes de l'électricité, il est difficile de distinguer si l'étincelle vient du corps électrisé ou de celui qui ne l'est pas, attendu qu'elle remplit également l'espace entre les deux corps; et si l'électricité est négative, l'éther et l'étincelle est effectivement lancée du corps naturel ou non électrisé. Mais parce que nous sommes assez assurés que dans le tonnerre les nuages ont une électricité positive, nous sommes aussi certains que l'éclair est lancé des nuages.

Au reste, V. A. aura raison de demander si, à chaque coup de tonnerre, quelque corps terrestre est frappé par la foudre? Nous voyons en effet que la foudre ne frappe que très-rarement des bâtiments ou des hommes; mais nous savons aussi que souvent des arbres en sont touchés, et que plusieurs coups de foudre entrent dans la terre et les eaux. Cependant, je crois qu'on peut bien soutenir que quantité de coups de foudre ne pénètrent pas jusqu'ici-bas, et que l'électricité des nuages se décharge souvent dans l'air ou l'atmosphère. La *fermeté* des pores de l'air n'y met plus d'obstacle, dès que par des vapeurs ou par la pluie l'air est devenu assez

humide; car alors nous savons que ses pores s'ouvrent.

Dans ce cas, il peut très-bien arriver que l'éther superflu des nuages se décharge simplement dans l'air, et que plusieurs coups de foudre se font dans l'air, qui ne seront pas si forts, ni accompagnés d'un si grand bruit de tonnerre, que lorsque la foudre se lance jusque sur la terre, où une beaucoup plus grande étendue de l'atmosphère est mise en agitation.

» Je crois que ces remarques ne contribueront pas peu à éclaircir mieux la nature du tonnerre, et en faire voir l'étroite liaison avec l'électricité.

LETTRE XXII.

(15 août 1761.)

Sur la possibilité de prévenir et de détourner les funestes effets de la foudre.

On demande s'il ne serait pas possible de prévenir ou de détourner les funestes effets de la foudre? V. A. connaît l'importance de cette question : et combien d'obligations ne m'auraient pas tant d'honnêtes gens, si je pouvais leur indiquer un moyen sûr pour se mettre à l'abri de la foudre!

La connaissance de la nature et des effets de l'électricité ne me laisse pas douter que la chose ne soit possible. J'étais autrefois en correspondance avec un ecclésiastique de Moravie, nommé Proco-

pius Divisch, qui m'a assuré avoir détourné, pendant un été tout entier, tous les orages de l'endroit où il demeurait et des environs, et cela, par le moyen d'une certaine machine construite sur les principes de l'électricité. Quelques personnes, qui sont venues depuis de cette contrée, m'ont assuré que la chose était bien vraie et constatée.

Quand même la chose réussirait, il y a cependant bien des personnes qui douteraient qu'il fût permis de se servir d'un tel remède. En effet, les anciens païens auraient regardé comme un impie celui qui aurait entrepris d'arrêter Jupiter dans le maniement de ses foudres. Les chrétiens, qui sont assurés que la foudre est un ouvrage de Dieu, et que la divine Providence s'en sert souvent pour punir la méchanceté des hommes, pourraient également dire que c'est une impiété de vouloir s'opposer à la justice souveraine.

Mais, sans m'engager dans cette question épineuse, je remarque que les incendies, les inondations et les autres calamités sont également des moyens que la Providence met en usage pour punir les péchés des hommes : cependant personne ne s'avisera de nous imposer la loi de n'opposer aucune résistance aux incendies et aux inondations. De là je tire la conséquence qu'il sera toujours très-permis de nous garantir contre les effets de la foudre, pourvu que nous y puissions réussir.

Le triste accident qui est arrivé à M. Richmann, à Pétersbourg, nous fait voir que le coup de foudre que cet homme s'est attiré aurait sans doute frappé

charge paisiblement, et tout le monde regarde cela comme un très-bon signe, qui absorbe plusieurs coups de foudre,

En mer, on observe également souvent, sur le sommet des mâts, des lumières qui sont connues parmi les marins sous le nom de *Castor et Pollux*; et quand on voit ces signes, on se croit à l'abri des coups de tonnerre.

La plupart des philosophes ont rapporté ces phénomènes parmi les superstitions du peuple; mais nous reconnaissons maintenant que ces sentiments du peuple ne sont pas destitués de fondement: ils sont au contraire infiniment mieux fondés que la plupart des rêveries des philosophes.

LETTRE XXIII.

(18 août 1761.)

Sur le fameux problème des longitudes. Description générale de la terre, de son axe, ses deux pôles, et l'équateur.

V. A. jugera sans doute qu'il est enfin temps de quitter l'électricité; aussi n'ai-je plus rien à ajouter sur ce sujet : mais je ne suis pas peu embarrassé pour trouver une matière qui soit digne de l'attention de V. A.

Je crois que, pour décider dans ce choix, je dois avoir égard aux matières qui intéressent davantage nos connaissances, et dont les écrivains font souvent mention ; ce sont des matières sur lesquelles on peut

prétendre que des personnes de qualité soient suffisamment instruites.

V. A. ayant sans doute entendu parler souvent du fameux problème des longitudes, sur la solution duquel les Anglais ont promis de grands prix, je crois que mes instructions ne seront pas mal placées, quand je les emploierai à mettre V. A. au fait de cette question importante. Elle est assez étroitement liée avec la connaissance du globe de notre terre, pour qu'il ne soit pas permis de l'ignorer : c'est ce qui me fournira une occasion d'expliquer quantité d'articles intéressants, sur lesquels V. A. sera bien aise d'être éclaircie.

Je commencerai donc par donner une description générale de la terre, qu'on peut regarder comme un globe, quoiqu'on ait trouvé, dans ces derniers temps, que sa véritable figure est un sphéroïde tant soit peu aplati ; mais la différence est si petite, que nous la pouvons bien négliger à présent.

Nous devons remarquer premièrement sur le globe de la terre les deux points placés sur sa surface, que l'on nomme les deux *pôles de la terre*. C'est autour de ces deux points que le globe de la terre tourne chaque jour, comme on fait tourner un globe qu'on tient fixe entre les deux pointes d'un tour ; ce mouvement est nommé le mouvement journalier ou diurne de la terre, dont chaque tour s'achève en 24 heures environ. Ou bien, si nous voulions parler selon les apparences, V. A. sait que le ciel tout entier, que nous regardons comme une boule creuse au milieu de laquelle la terre se trouve, paraît

tourner autour de la terre dans le même temps
24 heures : ce mouvement se fait aussi autour
deux points fixes dans le ciel, qu'on nomme
pôles du ciel. Maintenant, si nous concevons
ligne droite tirée d'un de ces pôles du ciel jus
l'autre, cette ligne passera par le milieu de la te

Or, V. A. comprend aisément que les apparen
doivent être les mêmes, soit que la terre tou
autour de ces pôles, le ciel restant en repos;
que le ciel tourne autour de ces pôles, la terre
meurant en repos. L'une et l'autre considéra
nous conduit également à la connaissance des p
de la terre, sur laquelle est fondée non-seulem
l'astronomie, mais aussi la géographie.

Que la *fig.* 12 représente le globe de la terre, d
les pôles soient les points A et B; l'un de ces p
A est nommé le pôle *austral*, ou *méridional*,
aussi le pôle *antarctique*. L'autre pôle B est nom
boréal ou *septentrional*, ou bien le pôle *arctiq*
c'est ce dernier qui est le plus proche des endr
que nous habitons.

Je remarque que ces deux pôles sont directem
opposés l'un à l'autre ; ou bien, si l'on tirait
ligne droite de l'un à l'autre AB, au dedans d
terre, elle passerait précisément par le milieu
c'est-à-dire par le centre de la terre. Cette li
droite AB porte aussi son nom, et est nommée l'
de la terre, qui, étant prolongé de part et d'a
jusqu'au ciel, y marquera les points qu'on nom
les pôles du ciel, et auxquels on donne les mê
noms qu'à ceux de la terre.

Ces deux pôles de la terre ne sont pas une pure fiction, ni une spéculation des astronomes et des géographes; ils sont plutôt des points très-essentiels, marqués sur la surface de notre terre ; car nous savons que plus on s'appoche de ces deux points, plus les contrées deviennent rudes et froides, de sorte que les pays autour de ces points ne sont absolument pas habitables, à cause du froid excessif qui y règne pendant l'hiver ; aussi ne trouve-t-on pas des exemples qu'aucun voyageur ou aucun vaisseau ait pu parvenir jusqu'à l'un ou l'autre des pôles : on peut donc dire que ces deux endroits de la terre sont absolument inaccessibles.

Ayant ainsi déterminé les deux pôles de la terre A et B, on conçoit toute la terre partagée en deux hémisphères, comme DBE et DAE, dont chacune porte, dans son sommet, l'un des pôles. Pour cet effet il faut couper la terre par son centre C, de sorte que la section soit perpendiculaire à l'axe de la terre : cette section marquera sur la surface de la terre un cercle qui passe tout autour de la terre, et qui est partout également éloigné des deux pôles. Ce cercle, qui entoure la terre par son milieu, porte le nom d'*équateur;* les pays qui en sont près sont les plus chauds, et à cause de cela presque inhabitables, à ce que les anciens ont cru ; mais aujourd'hui on les trouve assez habités, quoique la chaleur y soit presque insurmontable.

Or, en s'éloignant de l'équateur de part et d'autre vers les pôles, les contrées deviennent de plus en plus tempérées, jusqu'à ce que le froid devienne

enfin insoutenable lorsqu'on s'approche trop des pôles.

Comme l'équateur partage la terre en deux hémisphères, chacun porte le nom du pôle qui s'y trouve : ainsi la moitié DBE, qui contient le pôle boréal, est nommée l'*hémisphère boréal*, et c'est dans cet hémisphère qu'est située toute l'Europe, presque toute l'Asie, une partie de l'Afrique et la moitié de l'Amérique. L'autre hémisphère DAE est nommé l'*hémisphère méridional* ou *austral*, et il contient la plus grande partie de l'Afrique, l'autre moitié de l'Amérique, et plusieurs îles qu'on rapporte à l'Asie, comme V. A. se souviendra l'avoir vu sur la mappemonde.

LETTRE XXIV.

(22 août 1761.)

De la grandeur de la terre, des méridiens, et du plus court chemin.

Après avoir bien fixé l'idée des pôles et de l'équateur de la terre, que V. A. peut mieux s'imaginer sur un globe que je ne suis capable de le représenter par une figure, les autres idées dont nous avons besoin s'ensuivront aisément.

J'y dois cependant ajouter encore un plus grand éclaircissement. L'axe de la terre, passant d'un pôle à l'autre par le centre, est un diamètre du globe de la terre, et par conséquent est deux fois plus grand que

rayon; on estime le rayon de la terre, ou la distance de chaque point de la surface au centre, de 60 milles d'Allemagne; donc, l'axe de la terre contiendra 1720 milles d'Allemagne. Ensuite l'équateur étant un cercle dont le centre est au centre de la terre, le rayon étant le même que celui de la terre, savoir, de 860 milles, le diamètre de l'équateur sera aussi de 1720 milles; toute la circonférence de l'équateur contiendra donc 5400 milles; ou bien, si l'on voulait faire le tour de la terre en suivant l'équateur, il faudrait faire un chemin de 5400 milles; d'où il est aisé de juger de la grandeur de la terre.

L'équateur étant un cercle, on le divise en 360 parties égales, qu'on nomme *degrés;* ainsi un degré de l'équateur contient précisément 15 milles d'Allemagne, puisque 15 fois 360 font 5400.

Chaque degré est subdivisé, outre cela, en 60 parties égales qu'on nomme *minutes*, de sorte que chaque minute contient la quatrième partie d'un mille d'Allemagne, ou bien environ 6000 pieds; et une *seconde*, étant la soixantième partie d'une minute, contiendra 100 pieds (1).

Dans l'impossibilité de représenter sur le papier

(1) *Voyez* la note sur la page 2, tome I. — Si l'on compte 40 millions de mètres pour la longueur du méridien, celle du degré moyen est 111111^{m}, ou un peu plus de 11 myriamètres. L'ancienne *lieue* géographique, de 25 au degré, équivaut à 4444^{m}. Le mille d'Allemagne, de 15 au degré, a pour longueur 7407^{m}. La minute comprend 1852^{m}, et la seconde environ 30^{m}. A cause de l'aplatissement de la terre, les nombres seraient un peu plus forts pour les degrés, minutes et secondes du cercle équatorial.

un globe autrement que par un cercle (*fig.* 13), V. A. y suppléera par l'imagination. Ainsi B, A, étant les deux pôles de la terre, B le boréal, et A l'austral, DMNE représentera l'équateur, ou plutôt cette moitié qui est tournée vers nous, l'autre moitié de l'équateur nous étant cachée de l'autre côté.

La ligne DMNE nous représente donc un demi-cercle, aussi bien que BDA et BEA, tous ces demi-cercles ayant leurs centres au centre du globe C. On se peut encore imaginer une infinité d'autres demi-cercles, tous tirés par les deux pôles A et B de la terre, et passant par autant de points différents de l'équateur qu'il y a de demi-cercles différents, comme BMA, BNA; ceux-ci seront tous semblables aux premiers demi-cercles BDA et BEA. Quoique dans la figure leurs traits soient très différents, l'imagination y doit suppléer, car sur un globe actuel la chose est très-évidente.

Tous ces demi-cercles tirés d'un pôle à l'autre, par quelque point de l'équateur qu'ils passent, sont nommés *méridiens;* ou bien un méridien n'est autre chose qu'un demi-cercle qui sur la surface de la terre est tiré d'un pôle à l'autre; d'où V. A. comprend que, prenant un lieu quelconque sur la surface de la terre, comme le point L, on peut toujours concevoir un méridien BLMA, qui, en passant par les deux pôles, traverse ce lieu L. C'est alors qu'on nomme ce méridien le méridien du lieu L. Si, par exemple, L était Berlin, le demi-cercle BLMA serait le méridien de Berlin; et ainsi de même par rapport à tous les autres lieux de la terre.

V. A. n'a qu'à se représenter un globe sur la surface duquel sont dessinés tous les pays de la terre, le continent aussi bien que la mer avec ses îles. Un tel globe artificiel, qui ne saurait être inconnu à V. A., est nommé un globe terrestre.

Quant à tous les méridiens qu'on peut concevoir, et dont un grand nombre est effectivement tiré sur le globe, je remarque que chacun étant un demi-cercle, il est partagé par l'équateur en deux parties égales, dont chacune se trouve être un quart de cercle, c'est-à-dire, un arc de 90 degrés. Ainsi BD, BM, BN, BE, sont des quarts de cercle aussi bien que AD, AM, AN et AE; chacun contient donc 90 degrés : on y peut encore ajouter que chacun est perpendiculaire à l'équateur, faisant avec celui-ci des angles droits.

Je remarque de plus que, si l'on voulait voyager du point de l'équateur M jusqu'au pôle B, le plus court chemin serait de suivre la route du méridien MLB, qui étant un arc de 90 degrés, et un degré contenant 15 milles d'Allemagne, le chemin le plus court serait de 1350 milles d'Allemagne, qu'il faudrait parcourir pour aller de l'équateur jusqu'à l'un des pôles.

V. A. se souviendra que le plus court chemin d'un lieu à l'autre est la ligne droite tirée par ces deux lieux : ici, la ligne droite, tirée du point M de l'équateur jusqu'au pôle B, tomberait au-dedans de la terre, route qu'il serait impossible de suivre, parce que nous sommes tellement attachés à la surface de la terre, que nous ne saurions nous en écarter. C'est par cette raison que la question de-

vient bien différente quand il s'agit du plus court chemin sur la surface d'un globe qui conduit d'un endroit à l'autre. Ce plus court chemin sur un globe n'est plus une ligne droite, mais un arc de cercle tiré d'un endroit à l'autre sur sa surface, et dont le centre tombe précisément dans le centre du globe même. Cela est aussi parfaitement d'accord avec le cas dont il s'agit ici; car, pour voyager du point M de l'équateur jusqu'au pôle B, l'arc du méridien MLB, que j'ai dit être le chemin le plus court, est effectivement un arc de cercle dont le centre se trouve au centre de la terre.

De même, si nous considérons le lieu L situé dans le méridien BLMA, le plus court chemin pour aller de ce lieu jusqu'au pôle B sera l'arc LB; et sachant le nombre de degrés que cet arc contient, en comptant 15 milles pour chaque degré, on aura la longueur du chemin. Mais si l'on voulait aller de ce même lieu à l'équateur en prenant le plus court chemin, il faudrait suivre la route de l'arc du méridien LM, dont le nombre de degrés, en comptant 15 milles par degré, donnerait la longueur du chemin.

Au reste, on se contente d'exprimer ces chemins par degrés, puisqu'il est si aisé de les réduire en milles d'Allemagne, et que d'autres nations se servent d'autres milles plus grands ou plus petits. Ainsi, prenant la ville de Berlin pour le lieu L, on trouve que l'arc LM qui conduit à l'équateur contient 52 degrés et demi; par conséquent, pour aller de Berlin à l'équateur, le plus court chemin est de 787 milles et demi. Mais si l'on voulait aller de

Berlin au pôle boréal ou septentrional B, il faudrait suivre la route de l'arc BL, qui, contenant 37 degrés et demi, fera 562 milles et demi. Ces deux chemins ensemble donnent 1350 milles pour la longueur de l'arc BLM, qui est un quart de cercle de 90 degrés, dont la valeur est, comme nous avons vu, de 1350 milles d'Allemagne.

LETTRE XXV.

(22 août 1761.)

De la latitude, et de l'influence qu'elle a sur les saisons et la longueur des jours.

Je commence encore par la même *fig.* 13 ou 14, qui sera déjà assez familière à V. A. Le cercle entier représente le globe de la terre; les points A et B, ses deux pôles : B, le pôle boréal, septentrional ou arctique; A, le pôle austral, méridional ou antarctique; de sorte que la droite BA, tirée au dedans de la terre et passant par son centre C, soit l'axe de la terre. Ensuite, DME est l'équateur qui divise la terre en deux hémisphères, l'un DBE boréal, et l'autre DAE méridional.

Considérons maintenant un lieu quelconque L, et tirons son méridien BLMA, qui, étant un demi-cercle, passe par ce lieu L et par les deux pôles B et A. C'est donc le méridien du lieu L qui est partagé par l'équateur en M en deux parties égales, étant deux quarts de cercle dont chacun contient

un globe autrement que par un cercle (*fig.* 13
V. A. y suppléera par l'imagination. Ainsi B, A, éta
les deux pôles de la terre, B le boréal, et A l'austr
DMNE représentera l'équateur, ou plutôt cette m
tié qui est tournée vers nous, l'autre moitié de l
quateur nous étant cachée de l'autre côté.

La ligne DMNE nous représente donc un dem
cercle, aussi bien que BDA et BEA, tous ces dem
cercles ayant leurs centres au centre du globe C. (
se peut encore imaginer une infinité d'autres dem
cercles, tous tirés par les deux pôles A et B de
terre, et passant par autant de points différents
l'équateur qu'il y a de demi-cercles différent
comme BMA, BNA; ceux-ci seront tous semblabl
aux premiers demi-cercles BDA et BEA. Quoiq
dans la figure leurs traits soient très différents, l'
magination y doit suppléer, car sur un globe actu
la chose est très-évidente.

Tous ces demi-cercles tirés d'un pôle à l'autr
par quelque point de l'équateur qu'ils passent, so
nommés *méridiens*; ou bien un méridien n'est aut
chose qu'un demi-cercle qui sur la surface de l
terre est tiré d'un pôle à l'autre; d'où V. A. com
prend que, prenant un lieu quelconque sur la su
face de la terre, comme le point L, on peut tou
jours concevoir un méridien BLMA, qui, en passa
par les deux pôles, traverse ce lieu L. C'est alo
qu'on nomme ce méridien le méridien du lieu L
Si, par exemple, L était Berlin, le demi-cercle BLM
serait le méridien de Berlin; et ainsi de même pa
rapport à tous les autres lieux de la terre.

V. A. n'a qu'à se représenter un globe sur la surface duquel sont dessinés tous les pays de la terre, le continent aussi bien que la mer avec ses îles. Un tel globe artificiel, qui ne saurait être inconnu à V. A., est nommé un globe terrestre.

Quant à tous les méridiens qu'on peut concevoir, et dont un grand nombre est effectivement tiré sur le globe, je remarque que chacun étant un demi-cercle, il est partagé par l'équateur en deux parties égales, dont chacune se trouve être un quart de cercle, c'est-à-dire, un arc de 90 degrés. Ainsi BD, BM, BN, BE, sont des quarts de cercle aussi bien que AD, AM, AN et AE; chacun contient donc 90 degrés : on y peut encore ajouter que chacun est perpendiculaire à l'équateur, faisant avec celui-ci des angles droits.

Je remarque de plus que, si l'on voulait voyager du point de l'équateur M jusqu'au pôle B, le plus court chemin serait de suivre la route du méridien MLB, qui étant un arc de 90 degrés, et un degré contenant 15 milles d'Allemagne, le chemin le plus court serait de 1350 milles d'Allemagne, qu'il faudrait parcourir pour aller de l'équateur jusqu'à l'un des pôles.

V. A. se souviendra que le plus court chemin d'un lieu à l'autre est la ligne droite tirée par ces deux lieux : ici, la ligne droite, tirée du point M de l'équateur jusqu'au pôle B, tomberait au-dedans de la terre, route qu'il serait impossible de suivre, parce que nous sommes tellement attachés à la surface de la terre, que nous ne saurions nous en écarter. C'est par cette raison que la question de-

vient bien différente quand il s'agit du plus court chemin sur la surface d'un globe qui conduit d'un endroit à l'autre. Ce plus court chemin sur un globe n'est plus une ligne droite, mais un arc de cercle tiré d'un endroit à l'autre sur sa surface, et dont le centre tombe précisément dans le centre du globe même. Cela est aussi parfaitement d'accord avec le cas dont il s'agit ici; car, pour voyager du point M de l'équateur jusqu'au pôle B, l'arc du méridien MLB, que j'ai dit être le chemin le plus court, est effectivement un arc de cercle dont le centre se trouve au centre de la terre.

De même, si nous considérons le lieu L situé dans le méridien BLMA, le plus court chemin pour aller de ce lieu jusqu'au pôle B sera l'arc LB; et sachant le nombre de degrés que cet arc contient, en comptant 15 milles pour chaque degré, on aura la longueur du chemin. Mais si l'on voulait aller de ce même lieu à l'équateur en prenant le plus court chemin, il faudrait suivre la route de l'arc du méridien LM, dont le nombre de degrés, en comptant 15 milles par degré, donnerait la longueur du chemin.

Au reste, on se contente d'exprimer ces chemins par degrés, puisqu'il est si aisé de les réduire en milles d'Allemagne, et que d'autres nations se servent d'autres milles plus grands ou plus petits. Ainsi, prenant la ville de Berlin pour le lieu L, on trouve que l'arc LM qui conduit à l'équateur contient 52 degrés et demi; par conséquent, pour aller de Berlin à l'équateur, le plus court chemin est de 787 milles et demi. Mais si l'on voulait aller de

erlin au pôle boréal ou septentrional B, il faudrait ıivre la route de l'arc BL, qui, contenant 37 degrés demi, fera 562 milles et demi. Ces deux chemins ısemble donnent 1350 milles pour la longueur de ırc BLM, qui est un quart de cercle de 90 degrés, ont la valeur est, comme nous avons vu, de 1350 ıilles d'Allemagne.

LETTRE XXV.

(22 août 1761.)

De la latitude, et de l'influence qu'elle a sur les saisons et la longueur des jours.

Je commence encore par la même *fig.* 13 ou 14, ui sera déjà assez familière à V. A. Le cercle entier eprésente le globe de la terre; les points A et B, ses eux pôles : B, le pôle boréal, septentrional ou arcique; A, le pôle austral, méridional ou antarctique; le sorte que la droite BA, tirée au dedans de la erre et passant par son centre C, soit l'axe de la erre. Ensuite, DME est l'équateur qui divise la erre en deux hémisphères, l'un DBE boréal, et 'autre DAE méridional.

Considérons maintenant un lieu quelconque L, t tirons son méridien BLMA, qui, étant un demiercle, passe par ce lieu L et par les deux pôles B et A. C'est donc le méridien du lieu L qui est partagé par l'équateur en M en deux parties égales, étant deux quarts de cercle dont chacun contient

90 degrés. Ensuite, je remarque que l'arc de ce méridien nous a donné la distance du lieu L à l'équateur, et que l'arc LB exprime la distance du même lieu L au pôle B.

Cela posé, il est bon de remarquer que l'arc LM, ou la distance de L à l'équateur, est nommé la *latitude* du lieu L; de sorte que la latitude d'un lieu sur la terre n'est autre chose que l'arc du méridien de ce lieu, qui est intercepté entre l'équateur et le lieu proposé; ou bien, la latitude d'un lieu est la distance de ce lieu à l'équateur, en exprimant cette distance par degrés, dont nous connaissons la valeur, sachant que chaque degré contient 15 milles d'Allemagne.

V. A. comprend aisément qu'il faut distinguer cette distance selon que le lieu se trouve ou dans l'hémisphère boréal ou dans l'hémisphère austral: dans le premier cas, si le lieu proposé est dans l'hémisphère boréal ou septentrional, on dit qu'il a une latitude boréale; mais s'il est dans l'autre hémisphère austral ou méridional, on dit que sa latitude est méridionale.

Ainsi, quand il est question de Berlin, on dit que sa latitude boréale est de 52 degrés et 31 minutes; de même, la latitude de Magdebourg est aussi boréale de 52 degrés et 19 minutes. Mais la latitude de Batavia aux Indes orientales est méridionale de 6 degrés 15 minutes; et celle du cap de Bonne-Espérance en Afrique est aussi méridionale de 34 degrés 15 minutes.

Je remarque ici en passant que, pour abréger, on

met, au lieu du mot *degré*, un petit zéro (°) au-dessus du nombre, et, au lieu du mot *minute*, une petite barre (′), et s'il y a des *secondes*, on en met deux (″) : c'est ainsi que la latitude de Paris, à l'Observatoire, est 48° 50′ 10″ B, ce qui veut dire 48 degrés 50 minutes et 10 secondes, boréale. Au Pérou, il y a un endroit nommé *Vlo*, dont on a trouvé la latitude 17° 36′ 15″ M, ou bien 17 degrés 36 minutes et 15 secondes, méridionale. D'où V. A. comprend que si l'on parlait d'un lieu dont la latitude fût 0°.0′.0″, ce lieu serait précisément sous l'équateur, puisque sa distance de l'équateur est zéro ou nulle ; et ici il n'est pas nécessaire d'y ajouter la lettre B ou M. Mais si l'on parvenait à un lieu dont la latitude serait 90° B, ce lieu serait précisément le pôle boréal même de la terre, qui est éloigné de l'équateur d'un quart de cercle, ou de 90 degrés. De là, V. A. entend parfaitement ce que c'est que la latitude d'un lieu, et pourquoi on l'exprime par degrés, minutes et secondes.

Il est très-important de connaître la latitude de chaque lieu, non-seulement pour la géographie, afin d'assigner à chacun sa juste place sur les cartes géographiques, mais c'est encore de la latitude que dépendent les saisons de l'année, l'inégalité des jours et des nuits, et par conséquent la température du lieu. Pour les endroits situés sous l'équateur même, il n'y a presque point de variation dans les saisons, et pendant toute l'année les jours et les nuits sont de même durée, savoir, de 12 heures; c'est pour cette raison que l'équateur est aussi nommé la *ligne*

équinoxiale : mais plus on s'éloigne de l'équateur, plus aussi la différence entre les saisons de l'année devient marquée, et plus aussi les jours surpassent les nuits en été; tandis que réciproquement, en hiver, les jours sont d'autant plus courts que les nuits.

V. A. sait que les plus longs jours sont au commencement de l'été, vers le 21 juin : conséquemment on a dans le même temps les nuits les plus courtes; et qu'au contraire, au commencement de l'hiver, vers le 23 décembre, les jours sont les plus courts et les nuits les plus longues : de manière que partout le plus long jour est égal à la plus longue nuit. Or, en chaque lieu, la durée du plus long jour dépend de la latitude du lieu. Ici, à Berlin, le plus long jour est de 16 heures 38 minutes; et par conséquent le plus court jour en hiver, de 7 heures 22 minutes. Aux endroits plus proches de l'équateur, ou dont la latitude est moindre que celle de Berlin, qui est 52° 31′, le plus long jour en été a moins de 16 heures 38 minutes; et en hiver, le jour le plus court, plus de 7 heures 22 minutes. Le contraire arrive aux endroits plus éloignés de l'équateur : à Pétersbourg, par exemple, dont la latitude est 60 degrés, le plus long jour est de 18 heures 30 minutes, et par conséquent la nuit n'est alors que de 5 heures 30 minutes; en hiver, au contraire, la nuit la plus longue y est de 18 heures 30 minutes, et le jour n'est alors que de 5 heures 30 minutes. Si on s'éloigne encore davantage de l'équateur, et qu'on parvienne à un lieu dont la latitude

t de 60° 30′, le plus long jour y est précisément e 24 heures, ou bien le soleil ne s'y couche pas ors; tandis qu'en hiver le contraire arrive, le soil ne s'y levant point du tout le 23 décembre, ou en la nuit durant alors 24 heures. Or, dans les ux encore plus éloignés de l'équateur, et conséemment plus proches du pôle, comme, par emple, Warthuys dans la Laponie suédoise, ce us long jour de 24 heures y dure plusieurs jours suite, pendant lesquels le soleil ne se couche solument pas; et la plus longue nuit, où le soleil e se lève point du tout, est de la même durée.

Si nous pouvions arriver au pôle même, nous aurions du jour pendant six mois de suite, et endant les six autres mois une nuit continuelle. le là V. A. comprend combien il est important de ien connaître la latitude de tous les lieux de la erre.

LETTRE XXVI.

(29 août 1761.)

Des parallèles, du premier méridien, et des longitudes.

Ayant eu l'honneur de dire à V. A. que, pour ouver le méridien d'un lieu proposé L (*fig.* 15), faut tirer sur la surface de la terre un demi-cercle BLMA, qui passe par les deux pôles B et A, et ar le lieu proposé L; je remarque qu'il y a une nfinité d'autres endroits par lesquels ce même mé-

ridien passe, et qui par conséquent sont dits être tous situés sous le même méridien, soit dans l'hémisphère boréal entre B et M, soit dans l'hémisphère méridional ou austral entre M et A.

Or, tous les lieux situés sous un même méridien diffèrent par rapport à leur latitude, les uns étant plus proches ou plus éloignés de l'équateur que les autres. C'est ainsi que le méridien de Berlin passe par la ville de Meissen, et à peu près par le port de Trieste, et par quantité d'autres lieux moins remarquables.

Ensuite V. A. voit aussi qu'une infinité de lieux peuvent avoir la même latitude, ou être également éloignés de l'équateur; mais que tous ces lieux sont situés sous des méridiens différents. En effet, si L est la ville de Berlin, dont la latitude ou l'arc LM contient 52° 31′, on peut assigner, sous tout autre méridien BNA, un lieu I, dont la latitude ou l'arc IN est aussi 52° 31′; tels lieux sont aussi les points F et G pris dans les méridiens BDA et BEA. Comme donc on peut tirer par chaque point de l'équateur un méridien, dans lequel il y aura un endroit dont la latitude sera la même que celle de Berlin ou du lieu L, on aura une infinité de lieux qui tous auront une même latitude. Tous ces lieux seront situés dans un cercle FLIG, qui, ayant tous ses points également éloignés de l'équateur, est nommé un *cercle parallèle* à l'équateur, ou simplement un *parallèle*. Un parallèle sur la terre n'est donc autre chose qu'un cercle qui est parallèle à l'équateur, ou dont tous les points sont également éloignés de l'équa-

eur; d'où il est clair que tous les points d'un parallèle sont aussi également éloignés des pôles de la erre.

Comme on peut tirer par chaque lieu de la terre n tel parallèle, on peut concevoir une infinité de arallèles qui tous diffèrent entre eux par rapport la latitude, chacun ayant une latitude, soit boréale, oit australe, qui lui est propre.

V. A. comprend aussi que plus la latitude est rande, ou plus on approche de l'un des pôles, lus les parallèles deviennent petits, jusqu'à ce u'enfin aux pôles mêmes, où la latitude est de 90°, es parallèles se réunissent dans un seul point. Mais, u contraire, plus on approche de l'équateur, ou lus la latitude est petite, plus aussi les parallèles ont grands; et ils se confondent enfin avec l'équateur même, lorsque la latitude est zéro ou nulle. C'est aussi par la latitude qu'on distingue ces parallèles : ainsi, le parallèle de 30 est celui qui passe ar tous les lieux dont la latitude est de 30°, où 'on doit pourtant s'expliquer si l'on parle d'une atitude boréale, ou d'une latitude méridionale.

En consultant les cartes géographiques, V. A. erra que Hanovre est situé sous le même parallèle ue Berlin, la latitude de l'un et de l'autre étant 50° 31', et que de même les villes de Brunswick et d'Amsterdam tombent presque sous le même parallèle, mais que les méridiens qui passent par ces endroits sont différents. Or, connaissant tant le méridien que le parallèle sous lequel un lieu est situé, on en connaît la véritable place sur la terre

Si l'on nous disait, par exemple, qu'un certain endroit est situé sous le méridien BNA et sous le parallèle FLG, on n'aurait qu'à voir où le méridien BNA est coupé par le parallèle FLG, et l'intersection I donnera la véritable place de l'endroit proposé.

C'est aussi de ce moyen dont se servent les géographes pour déterminer la véritable position de tous les endroits de la terre. Il ne s'agit que d'en connaître le parallèle ou sa latitude, et le méridien qui lui répond. Pour le parallèle, il est aisé de le remarquer et de le distinguer de tous les autres parallèles; on n'a qu'à indiquer la latitude ou la distance de l'équateur, qui sera ou boréale ou méridionale : mais comment pourra-t-on décrire un méridien et le distinguer de tous les autres? Tous les méridiens se ressemblent parfaitement, ils sont tous égaux entre eux, et aucun ne porte une marque essentielle préférablement aux autres. Il dépend donc uniquement de notre bon plaisir de choisir un certain méridien et de le fixer, pour en compter tous les autres. Si, par exemple, dans la figure citée au commencement de cette lettre, on choisissait le méridien BDA, il serait aisé de nous donner une description de tout autre méridien, comme BMA : on n'aurait qu'à nous indiquer dans l'équateur l'arc DM compris entre le méridien fixe BDA et celui dont il est question BMA, pourvu qu'on ajoute en quel sens on doit partir du méridien fixe pour passer à l'autre, si c'est vers l'orient ou vers l'occident.

On nomme ce méridien fixe, duquel on compte

tous les autres, le *premier méridien;* et puisque le choix de ce premier méridien dépend de notre bon plaisir, V. A. ne sera point surprise que les diverses nations ne sont pas d'accord là-dessus. Les Français ont choisi pour cet effet l'île de Fer, qui est une des îles Canaries; et c'est par cette île qu'ils tirent leur premier méridien. Les Allemands et les Hollandais font passer leur méridien par une autre île des Canaries, qui est nommée *Ténériffe* (1). Mais, soit qu'on suive les Français ou les Allemands, il faut toujours bien remarquer sur l'équateur le point par lequel le premier méridien passe; et de ce point on compte ensuite, par degrés, les points par lesquels passent tous les autres méridiens, et tant les Français que les Allemands sont d'accord de compter de l'occident vers l'orient.

Ainsi, si dans notre figure le demi-cercle BDA était le premier méridien, et que les points de l'équateur M et N fussent situés vers l'orient; pour marquer tout autre méridien BMA, on n'a qu'à indiquer la grandeur de l'arc DM, et cet arc est ce qu'on nomme la *longitude* de tous les lieux situés sous le méridien BMA. S'il était question des lieux situés sous le méridien BNA, leur longitude serait l'arc de l'équateur DN, exprimé en degrés, minutes et secondes.

(1) Aujourd'hui les Français prennent pour premier méridien celui de l'Observatoire de Paris; et les Anglais, celui de l'Observatoire de Greenwich.

Quoi qu'il en soit, il est presque ridicule de faire passer le premier méridien par un endroit dont la situation n'est pas bien connue; car ce n'est que depuis peu de temps qu'on a mieux déterminé la position des îles Canaries. Pour cette raison, les astronomes, qui emploient plus d'exactitude dans leurs recherches, placent le premier méridien de façon que le méridien de Paris à l'Observatoire en soit précisément éloigné de 20 degrés, sans se soucier par quel endroit passe alors le premier méridien. C'est sans doute le plus sûr parti qu'on puisse prendre; et, pour bien déterminer tout autre méridien, le meilleur moyen est d'en chercher l'éloignement de celui de Paris: alors, si cet autre méridien est plus vers l'orient, on n'a qu'à y ajouter 20 degrés pour avoir la longitude des lieux qui y sont situés; mais si ce méridien est plus vers l'occident que celui de Paris, on soustrait leur distance de 20 degrés; enfin, si cette distance vers l'occident est plus grande que 20 degrés, on la soustrait de 380 degrés, ou de 20 degrés au delà des 360, pour avoir la longitude du méridien.

Ainsi le méridien de Berlin étant plus vers l'orient que celui de Paris de 11° 7′ 15″, la longitude de Berlin sera 31° 7′ 15″; et c'est aussi la longitude de tous les autres lieux qui sont situés sous le même méridien que Berlin.

De même, le méridien de Pétersbourg étant plus vers l'orient de 28 degrés que celui de Paris, la longitude de Pétersbourg sera 48°.

Le méridien de Londres à Saint-James est plus

vers l'occident que celui de Paris de 2° 25′ 15″; donc, en ôtant cette quantité de 20°, le reste 17° 34′ 45″ donne la longitude de Londres à Saint-James.

Considérons aussi la ville de Lima au Pérou, dont le méridien est éloigné de celui de Paris de 70° 9′ 30″ vers l'occident, qu'il faut par conséquent soustraire de 380°; et l'on trouvera la longitude de Lima 309° 50′ 30″.

Or, quand on connaît tant la latitude que la longitude d'un endroit, on est en état de marquer son vrai lieu sur un globe terrestre ou sur une carte géographique; car comme la latitude marque le parallèle sous lequel l'endroit est situé, et que la longitude donne le méridien du même lieu, l'endroit où le parallèle coupe le méridien sera exactement le lieu proposé.

V. A. n'a qu'à jeter aussi les yeux sur une carte géographique, par exemple sur celle de l'Europe : elle verra aux deux côtés les degrés des parallèles marqués, ou leurs distances de l'équateur, et en haut et en bas les degrés de longitude, ou les éloignements des méridiens du premier méridien.

Ordinairement on trace sur les cartes tant les parallèles que les méridiens, ou de degré en degré, ou seulement de 5 degrés en 5 degrés. Dans la plupart des cartes, les méridiens sont tirés de haut en bas, et les parallèles de gauche à droite; ou le haut est dirigé vers le nord, le bas vers le sud ou le midi, le côté droit vers l'orient ou l'est; et le côté gauche vers l'occident ou l'ouest.

Ensuite il faut aussi remarquer que, puisque tous les méridiens concourent dans les deux pôles, plus deux méridiens approchent d'un pôle, plus leur distance sera petite; c'est toujours sous l'équateur où la distance entre deux méridiens est la plus grande. Aussi sur toutes les bonnes cartes où les méridiens sont tracés, V. A. verra qu'ils s'approchent toujours vers le haut, ou vers le nord, et que leurs distances deviennent plus grandes en bas, c'est-à-dire, en s'approchant de l'équateur : ce qui sert à une meilleure intelligence des cartes géographiques, par lesquelles on tâche de nous représenter la surface ou une partie de la surface du globe de la terre.

Mais mon but principal est de faire voir comment la véritable position de chaque lieu de la terre est déterminée par sa latitude et sa longitude.

LETTRE XXVIII.

(5 septembre 1761.)

Sur la méthode de déterminer la latitude ou l'élévation du pôle.

Puisqu'il est si important de connaître tant la latitude que la longitude de chaque lieu, pour savoir à quel point on se trouve sur la surface de la terre, V. A. jugera aisément qu'il est aussi important de découvrir les moyens propres à nous conduire à cette connaissance.

En effet, si un homme après un long voyage arrive à un endroit, soit sur terre, soit sur mer, rien ne saurait être plus intéressant pour lui que d'apprendre en quel lieu de la terre il se trouve alors; s'il est proche de quelque pays connu ou non, et quel chemin il faut prendre pour y arriver. Le seul moyen de tirer cet homme de son embarras sera sans doute de lui découvrir la latitude et la longitude du lieu où il se trouve: mais de quel moyen doit-il se servir pour parvenir à cette découverte, supposé qu'il est ou sur mer, ou sur terre dans quelque vaste désert où il n'y a nul habitant qu'il puisse consulter? Or, s'étant assuré de la latitude et de la longitude de son lieu, moyennant un globe terrestre ou des cartes géographiques, il y marquera aisément le point de sa demeure, d'où il sera en état de tirer tous les éclaircissements dont il a besoin.

Je ferai voir à V. A. que c'est principalement l'astronomie qui nous fournit les moyens de connaître tant la latitude que la longitude du lieu où nous nous trouvons; mais, pour ne pas ennuyer V. A. par un long détail de toutes les méthodes que les astronomes ont découvertes pour cet important dessein, je me contenterai de lui en présenter une idée générale; et j'ose me flatter que, de la manière que je m'y prendrai, cette idée sera suffisante pour faire comprendre à V. A. les principes sur lesquels toutes les méthodes sont fondées.

Je commencerai par la recherche de la latitude, qui n'est presque assujettie à aucune difficulté, pen-

dant que celle de la longitude semble encore surpasser la portée de l'esprit humain, surtout lorsqu'on se trouve en mer et qu'on y exige la dernière précision : c'est aussi pour cette raison qu'on a mis sur la recherche de la longitude des prix des plus considérables, pour mieux encourager les savants à réunir leur capacité et leurs travaux, afin qu'une découverte aussi importante que celle-ci devienne doublement intéressante et par l'honneur et par le gain qu'elle procurera à l'inventeur.

Je reviens à la latitude et aux moyens de la découvrir, remettant à un autre temps de parler plus amplement de la longitude et des différentes méthodes de la découvrir, surtout en voyageant par mer.

Que dans la *fig.* 16 les points B et A soient les pôles de la terre, BA son axe, et C son centre; que le demi-cercle BDA représente un méridien coupé par l'équateur au point D, et BD, AD seront des quarts de cercle ou des arcs de 90 degrés. La ligne droite CD sera donc un rayon de l'équateur, et DE son diamètre.

Soit maintenant dans ce méridien BDA le point L, le lieu proposé dont il faille chercher la latitude, ou bien le nombre de degrés que contient l'arc LD, qui mesure la distance du point L à l'équateur ; ou encore tirant le rayon CL, puisque l'arc LD est la mesure de l'angle DCL, que je nommerai y, cet angle y exprimera la latitude du lieu L qu'il s'agit de trouver.

Or, comme il ne nous est pas permis d'entrer au

centre de la terre pour y mesurer cet angle, il faut recourir au ciel. C'est là où la prolongation de l'axe de la terre AB mène au point boréal du ciel P, qu'on doit regarder comme infiniment éloigné de la terre. Qu'on prolonge aussi le rayon LC qui aboutira dans le ciel au point Z, qu'on nomme le zénith du lieu ; ensuite tirant par L la ligne droite ST perpendiculaire au rayon CL, V. A. se souviendra que cette ligne ST est une tangente du cercle, et qu'elle sera par conséquent horizontale au lieu L, notre horizon touchant toujours la surface de la terre au lieu où nous nous trouvons.

Qu'on regarde maintenant en L vers le pôle du ciel P, lequel étant infiniment éloigné, la droite LQ qui y est dirigée sera parallèle à la ligne ABP, ou à l'axe de la terre; ce pôle du ciel paraîtra donc entre le zénith et l'horizon LT, et l'angle TLQ, indiqué par la lettre *m*, montrera combien la droite LQ, dirigée au pôle, est élevée au-dessus de l'horizon; d'où cet angle *m* est nommé l'*élévation du pôle*.

V. A. a déjà sans doute assez souvent entendu parler de l'élévation du pôle, qu'on nomme aussi la *hauteur du pôle*, et qui n'est autre chose que l'angle que la ligne droite LQ, dirigée vers le pôle du ciel, fait avec l'horizon du lieu où nous sommes. V. A. comprend aussi aisément la possibilité d'observer cet angle *m* par le moyen d'un certain instrument astronomique propre à ce dessein, sans que j'aie besoin d'entrer dans un plus grand détail là-dessus.

qu'à tirer, sur l'horizon où l'on se trouve, une ligne droite du nord vers le sud, qu'on nomme la *ligne méridienne* de ce lieu. Il faut se donner toutes les peines possibles pour tracer bien exactement cette ligne méridienne, et c'est en quoi le ciel nous doit encore servir de guide.

V. A. sait qu'il est midi quand le soleil se trouve le plus élevé au-dessus de l'horizon; or, c'est alors que le soleil se trouve précisément vers le sud, et l'ombre d'un bâton fixé perpendiculairement sur un plan horizontal tombera alors précisément vers le nord; d'où il est aisé de comprendre comment les observations du soleil nous fournissent les moyens de bien tracer la ligne méridienne, en quelque lieu que nous nous trouvions.

Or, ayant tracé la ligne méridienne, toutes les autres directions ou routes sont aisément déterminées.

Soit dans la *fig.* 17 la ligne droite NS la méridienne, l'extrémité N étant dirigée vers le nord, et le bout S vers le sud. A cette méridienne NS, qu'on tire perpendiculairement la droite OE, dont l'extrémité E sera dirigée vers l'orient ou l'*est*, et l'autre extrémité O vers l'occident ou l'*ouest*(1). Maintenant, après avoir divisé le cercle en seize parties égales, on aura autant de directions nommées par les lettres y jointes; et, en cas qu'on suive une route qui ne convienne pas exactement avec une de ces seize, on

(1) Le texte de l'édition originale emploie les dénominations allemandes *ost* et *west*.

arque l'angle qu'elle fait avec la méridienne NS, ı avec la ligne OE qui lui est perpendiculaire.

C'est par ce moyen qu'on pourra exactement ›nnaître la route qu'on tient en voyageant; et ›utes les fois qu'on est bien assuré tant de la lonıeur du chemin que de la route qu'on aura suie, il est fort aisé de déterminer le vrai lieu où l'on ra parvenu, et d'en assigner même tant la latitude ne la longitude. Pour cet effet, on se servira d'une onne carte géographique, dont l'étendue doit être grande, qu'elle contienne tant le lieu d'où l'on est arti que celui où l'on est arrivé; et sur cette carte n pourra tirer le chemin qu'on aura parcouru, noyennant l'échelle qui marque la grandeur d'un nille dans cette carte.

La *fig.* 18 représente une telle carte, où sont marqués, de degré en degré, tant les parallèles de gauche à droite que les méridiens de haut en bas, et où l'on verra aussi que les méridiens sont plus proches les uns des autres en haut vers le nord qu'en bas vers le sud, comme cela arrive actuellement sur la terre.

Cette carte renferme une partie de la surface de la terre depuis 53 degrés de latitude boréale, jusqu'au 59e degré; et depuis 13 degrés de longitude jusqu'au 26e degré.

Supposons maintenant qu'on soit parti du lieu L, dont la longitude est 16° et la latitude 57° 20′, et qu'on ait tenu la route *est-sud-est*, sur laquelle on ait parcouru un chemin de 75 milles d'Allemagne. Pour trouver la longitude et la latitude du lieu où

l'on sera parvenu, soit tirée du lieu L la droite LM qui fasse avec le méridien 16-16 le même angle que fait dans la figure précédente la direction *ese* avec NS. Ensuite sur cette ligne qu'on prenne, selon l'échelle marquée dans la carte, LM de 75 milles d'Allemagne, et le point M sera le lieu où l'on sera parvenu.

A présent on n'a qu'à comparer ce lieu avec les méridiens et les parallèles tracés sur la carte, et on verra que sa longitude tombe très-près du 24e degré; et en mesurant plus exactement la partie du degré à ajouter au 24e degré, on trouvera la longitude du point M de 24° 4′. Pour la latitude, on voit qu'elle se trouve entre le 55e et le 56e degré, et on l'estimera aisément de 55° 25′; de sorte que du lieu M, où l'on est parvenu, la latitude est 55° 25′, et la longitude 24° 4′.

Ici, j'ai supposé qu'on a suivi pendant tout le voyage la même route marquée *ese;* mais si l'on changeait de route de temps en temps, on n'aurait qu'à faire pour chaque changement la même opération, pour trouver le lieu où l'on a été alors; et ensuite de ce lieu on tracera la route suivante, jusqu'à ce qu'on l'ait changée de nouveau, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive au dernier endroit. Par ce moyen, on sera toujours en état, dans les voyages, de connaître les lieux où l'on arrive, pourvu qu'on sache toujours exactement la route qu'on tient, et qu'on mesure aussi exactement le chemin qu'on parcourt.

Dans ce cas, on pourrait même se passer des se-

cours tirés de l'astronomie, à moins qu'on n'en ait besoin pour connaître au juste la route, ou l'angle qu'elle fait avec la méridienne; mais l'aiguille aimantée ou la boussole peut souvent suppléer à ce besoin.

V. A. comprendra cependant aisément qu'on peut se tromper bien considérablement dans l'estime de la route et de la longueur du chemin, surtout dans des voyages fort longs. Quand je vais seulement à Magdebourg, combien de fois ne changé-je point de route? et comment mesurerai-je exactement la longueur du chemin? Mais quand le voyage se fait par terre, on n'est pas réduit à cet expédient; on est alors en état de mesurer, par des opérations géométriques, les distances des lieux, et les angles que ces distances font avec la méridienne de chaque endroit; et c'est par ce moyen qu'on détermine assez exactement la véritable situation de tous les lieux.

LETTRE XXX.

(12 septembre 1761.)

Continuation de la lettre précédente, et des défauts de cette première méthode.

Dans les voyages par mer, la méthode indiquée d'observer tant la route qu'on tient que la longueur du chemin parcouru, semble être d'un très-grand secours, parce qu'on n'y est pas obligé de changer

de route à tout moment, comme il arrive lorsqu'on voyage par terre; car tant qu'on a le même vent, on peut poursuivre la même route.

Aussi les pilotes qui dirigent les vaisseaux sont très-attentifs à observer exactement la route que le vaisseau tient, et à mesurer le chemin qu'il parcourt; ils tiennent un journal exact de toutes ces observations; et à la fin de chaque jour, ou encore plus souvent, ils tracent sur leurs cartes marines, qui représentent l'étendue de la mer, le chemin qu'ils ont parcouru, et sont, par ce moyen, en état de marquer sur les cartes, pour chaque temps, le point où ils se trouvent, et dont ils connaissent par conséquent tant la latitude que la longitude. Aussi, tant que le cours se fait régulièrement, et que le vaisseau n'est pas trop agité par quelque tempête, les pilotes ne s'y trompent pas beaucoup; mais quand ils ont raison de se méfier, ils ont recours aux observations astronomiques, d'où ils concluent la hauteur du pôle, laquelle étant toujours égale à la latitude du lieu où ils se trouvent, ils la comparent avec celle qu'ils ont marquée sur la carte, conformément à l'estime du chemin. S'ils la trouvent d'accord, c'est une preuve que leur estime est juste; s'ils découvrent quelque différence, ils en concluent avec sûreté qu'ils se sont trompés dans l'estime du chemin et de la route; ils examinent alors l'un et l'autre plus soigneusement, et ils tâchent d'y rapporter les justes corrections, pour accorder l'estime avec l'observation de la hauteur du pôle, ou de la latitude qui lui est égale.

Dans de petits voyages cette précaution peut être iffisante, parce que les erreurs qu'on y commet y sont presque d'aucune conséquence; mais, dans ; longs voyages, ces petites erreurs peuvent s'acımuler au point qu'à la fin on se trompe trèsossièrement, de manière que le lieu où l'on se ouve effectivement diffère considérablement de :lui où l'on s'imagine se trouver sur la carte.

Jusqu'ici j'ai supposé que le voyage se fait assez aisiblement : qu'on s'imagine maintenant qu'il ırvient une grosse tempête, pendant laquelle le aisseau est assujetti aux plus fortes secousses tant lu vent que des flots; alors il est bien clair que oute l'estime de la longueur et de la route du chenin est entièrement dérangée, et qu'il n'est absolument plus possible de tracer sur la carte le chemin qu'on aura parcouru.

On pourrait bien, après un tel dérangement, déterminer par des observations astronomiques la latitude du lieu où l'on se trouve; mais cela ne découvrirait que le parallèle de ce lieu, et on resterait encore toujours très-incertain sur le point de ce parallèle qui répond au lieu du vaisseau.

Tout revient donc à reconnaître aussi la longitude de ce lieu, qui nous montre le méridien sous lequel il est situé; et alors l'intersection de ce méridien avec le parallèle trouvé donnera le véritable endroit du vaisseau. V. A. comprend par là combien il est important de mettre les pilotes en état de découvrir aussi la longitude du lieu où ils se trouvent.

Or, ce ne sont pas non-seulement les tempêtes qui nous mettent dans cette nécessité; même lorsque le voyage se fait paisiblement, on peut se tromper très-grossièrement dans l'estime tant de la route que de la longueur du chemin. Si l'on pouvait supposer que la mer fût en repos, alors on aurait bien des moyens de s'assurer assez exactement de la route et de la longueur du chemin, quoiqu'en des voyages de long cours cela pourrait causer des aberrations très-considérables. Mais il n'est que trop certain que la mer a en plusieurs endroits de rapides courants, de sorte qu'elle ressemble à une rivière qui court suivant une certaine direction. C'est ainsi qu'on a observé que la mer Atlantique coule continuellement par le détroit de Gibraltar dans la Méditerranée; et le grand océan Atlantique, entre l'Afrique et l'Amérique a un courant très-considérable de l'orient vers l'occident; de sorte qu'on va beaucoup plus promptement de l'Europe en Amérique qu'on n'en revient.

Si ces courants étaient constants et connus, ce serait un grand secours pour y régler notre estime; mais on a observé qu'ils sont tantôt plus, tantôt moins rapides, et qu'ils changent souvent de direction; ce qui dérange tellement l'estime des plus habiles pilotes, qu'on ne saurait plus s'y fier sans s'exposer au plus grand danger. On n'a que trop d'exemples que des vaisseaux ont cru être encore fort éloignés des endroits remplis d'écueils cachés sous la mer, lorsqu'ils y sont échoués et péris. Ensuite on s'est aperçu que les courants de la mer

vaient causé ces malheurs, en tant que l'estime les pilotes en a été dérangée.

En effet, lorsque la mer elle-même a un mouvement dont elle coule comme une rivière, suivant une certaine direction, les vaisseaux qui s'y trouvent en sont emportés sans qu'il soit possible de s'en apercevoir. Quand on est emporté par une rivière, on s'en aperçoit aisément en regardant le rivage, ou bien le fond de la rivière; mais en mer on ne voit aucune terre, et la profondeur en est aussi trop grande pour en pouvoir voir le fond. Il n'y a donc pas moyen de s'apercevoir sur mer si l'on en est emporté; et c'est par cette raison qu'on se trompe très-grossièrement, tant dans la route que dans la longueur du chemin. Soit donc qu'on ait égard aux tempêtes ou non, on est toujours obligé de chercher d'autres moyens pour déterminer la longitude des lieux où l'on parvient; et c'est sur les divers moyens qu'on a proposés jusqu'ici pour parvenir à cette connaissance de la longitude, que j'aurai l'honneur d'entretenir V. A.

LETTRE XXXI.

(15 septembre 1761.)

Deuxième méthode de déterminer les longitudes par le moyen d'une horloge exacte.

Un moyen très-sûr de trouver la longitude serait une horloge, ou montre, ou pendule si parfaite,

c'est-à-dire qui marcherait toujours si également et si exactement, qu'aucune secousse qu'elle éprouverait en voyageant ne serait capable d'en altérer le mouvement.

Supposons qu'on soit parvenu à exécuter une telle horloge, et faisons voir comment, par son moyen, on serait en état de résoudre le problème des longitudes. Pour cet effet, je dois retourner à la considération des méridiens, qu'on conçoit être tirés par tous les lieux de la terre.

V. A. sait que le soleil fait tous les jours un tour autour de la terre, et qu'il passe par conséquent successivement au-dessus de tous les méridiens dans le temps de vingt-quatre heures.

Or, on dit que le soleil passe au-dessus ou par un certain méridien, si la ligne droite tirée du soleil au centre de la terre C (*fig.* 19) passe précisément par ce méridien. Ainsi, si à présent la ligne tirée du soleil au centre de la terre passait par le méridien BLMA, on dirait que le soleil passe par ce méridien, et alors il serait midi en tous les lieux situés sous ce méridien : mais sous tout autre méridien il ne serait pas midi dans ce même moment; il serait donc ou avant ou après midi.

Si le méridien BNA est situé plus vers l'orient que le méridien BMA, le soleil, en faisant son tour de l'orient à l'occident, passera par le méridien BNA avant que de parvenir au méridien BMA; il sera donc plutôt midi sous le méridien BNA que sous le méridien BMA; par conséquent, lorsqu'il sera midi sous ce dernier méridien, le midi sera déjà passé

sous tout autre méridien situé vers l'orient, où il sera déjà après midi. Au contraire, il sera encore avant midi sous tout méridien BDA situé plus vers l'occident, parce que le soleil n'y parvient qu'après avoir déjà passé par le méridien BMA.

Ensuite, comme le mouvement du soleil se fait uniformément, et qu'il achève le tour entier de la terre, c'est-à-dire 360 degrés en vingt-quatre heures, il parcourra chaque heure un arc de 15 degrés. Donc, lorsqu'il est midi ici à Berlin et à tout autre lieu situé sous ce même méridien, le midi sera déjà passé sous les méridiens situés plus vers l'orient; et en particulier, sous le méridien éloigné vers l'orient de 15 degrés de celui de Berlin, il sera déjà une heure; sous le méridien éloigné de 30 degrés, deux heures; sous le méridien éloigné de 45 degrés, trois heures après midi, et ainsi de suite. Le contraire arrivera aux lieux situés sous des méridiens plus occidentaux que celui de Berlin; et s'il est midi ici, il ne sera que 11 heures avant midi sous le méridien éloigné de 15 degrés; 10 heures avant midi sous le méridien éloigné de 30 degrés; 9 heures avant midi sous le méridien éloigné de 45 degrés vers l'occident, et ainsi de suite: une différence de 15 degrés entre les méridiens produisant toujours une heure de différence dans le temps.

Pour éclaircir encore mieux ce que nous venons de dire, considérons les deux villes de Berlin et de Paris; et puisque le méridien de Berlin est de 11° 7′ 15″ plus vers l'orient que celui de Paris, en comptant une heure pour 15 degrés, cette différence de

11° 7′ 15″ donnera 44′ 29″ de temps, à peu près trois quarts d'heure. Donc, lorsqu'il est midi à Paris, il y aura à Berlin déjà 44′ 29″ après midi; et réciproquement, lorsqu'il est midi ici à Berlin, il sera encore avant midi à Paris, où l'horloge ne montrera que 11^h 15′ 31″; de sorte que le midi n'y arrivera qu'après 44′ 29″ de temps. D'où l'on voit qu'à chaque moment les horloges de Berlin doivent montrer plus qu'elles ne font à Paris, et que cette différence doit faire 44′ 29″ de temps.

La différence entre les méridiens de Berlin et de Magdebourg est de 1° 14, dont Berlin est plus oriental que Magdebourg; cette différence, réduite en temps, donne 6′ 40″; que les horloges de Berlin doivent marquer plus que celles de Magdebourg. Par conséquent, s'il est midi à Magdebourg, ou si les horloges, que je suppose être bien réglées, y marquent 12 heures, les horloges de Berlin doivent marquer au même instant 12^h 6′ 40″, de sorte qu'il y fasse déjà après midi.

V. A. voit de là qu'à mesure que les lieux diffèrent en longitude, ou qu'ils sont situés sous des méridiens différents, les horloges bien réglées y doivent aussi marquer des heures différentes au même instant, et que cette différence doit être d'une heure entière, lorsque la différence en longitude est de 15 degrés; chaque 15 degrés en longitude produisant une heure de temps pour la différence que des horloges bien réglées doivent marquer dans ces différents endroits au même moment.

Si l'on voulait donc se servir d'une horloge pour

rouver la longitude des endroits par lesquels on passe, il faut d'abord la bien régler, en quelque endroit qu'on se trouve : ce règlement se fait sur l'observation du midi, qui est le moment où le soleil passe par le méridien de ce lieu, et alors l'horloge doit montrer précisément 12 heures. Ensuite l'horloge doit être tellement ajustée, que toujours après vingt-quatre heures, lorsque le soleil retourne au même méridien (1), l'indice, après avoir fait deux tours entiers, revienne exactement sur 12 heures. Si cela est bien observé, de telles horloges bien réglées ne seront d'accord en différents endroits que lorsqu'ils sont situés sous un même méridien ; mais lorsqu'ils sont situés sous des méridiens différents, ou qu'il y a une différence entre leurs longitudes, les temps que les horloges marqueront au même moment seront aussi différents; en sorte qu'à chaque différence de 15 degrés en longitude, il réponde une

(1) En raison de ce que le soleil, dans son mouvement propre apparent, ne décrit pas un cercle autour de la terre, mais une ellipse, ayant son plan incliné d'environ 23° sur celui de l'équateur, la durée de l'intervalle entre deux retours consécutifs du soleil au méridien varie un peu d'un jour à l'autre. La valeur moyenne de cet intervalle est ce qu'on nomme le *jour solaire moyen*. Il est évident qu'une horloge ne peut suivre le soleil dans l'accélération et le ralentissement périodique de son mouvement propre, et qu'ainsi elle doit être réglée sur le *temps moyen*. La différence du *temps vrai* au *temps moyen*, ou l'heure qu'il est, en temps moyen, quand le soleil passe effectivement au méridien, est ce qu'on nomme l'*équation du temps*. On trouve l'équation du temps calculée, pour tous les jours de l'année, dans les tables astronomiques.

heure entière de différence dans les temps marqués par les horloges.

Donc, réciproquement, en connaissant cette différence entre les temps que des horloges bien réglées marquent en différents endroits au même instant, on en conclura aisément la différence qui se trouve entre leurs longitudes, en comptant toujours 15 degrés pour une heure, et un quart de degré pour une minute.

LETTRE XXXII.

(19 septembre 1761.)

Continuation de la lettre précédente, et éclaircissements ultérieurs.

V. A. sera d'autant moins surprise de la différence du temps que les horloges bien réglées doivent indiquer sous différents méridiens, quand elle voudra bien réfléchir que, lorsqu'il est midi chez nous, il y a des pays vers l'orient où le soleil se couche déjà, et que vers l'occident il y en a où le soleil ne fait que de se lever : il faut donc bien qu'auprès de ceux-là il soit déjà soir, tandis qu'auprès de ceux-ci il est encore matin, et que ceci soit au même instant qu'il est midi chez nous. Ensuite V. A. sait aussi que chez nos Antipodes, qui se trouvent sous le méridien opposé au nôtre, il fait nuit pendant qu'il fait jour chez nous; de sorte que, lorsqu'il est midi chez nous, il sera minuit chez eux.

Après ces éclaircissements, il me sera aisé de faire voir comment une bonne horloge peut servir à nous faire connaître la différence des méridiens, ou bien la différence en longitude de divers endroits.

Supposons, pour cet effet, que j'aie une telle excellente horloge qui, étant une fois bien réglée, montre tous les jours exactement le temps (1) juste qu'il fait ici à Berlin, de sorte que, toutes les fois qu'il est midi à Berlin, elle indique précisément 12 heures; supposons encore qu'elle marche si régulièrement, que je n'aie plus besoin d'y toucher après l'avoir réglée une fois; enfin, que sa marche ne soit point dérangée, soit que je la mette dans une voiture, soit qu'elle soit à bord d'un vaisseau en pleine mer, exposée à des secousses et à toutes sortes d'agitations.

Maintenant, que je fasse avec cette horloge un voyage soit par terre, soit par mer, et étant parfaitement assuré que cette horloge conserve toujours le même mouvement, tout comme si j'étais resté à Berlin, elle me marquera chaque jour 12 heures au même moment qu'il fait midi à Berlin, et cela en quelque lieu que je puisse me trouver. Dans ce voyage, j'arrive d'abord à Magdebourg; j'y observe le soleil lorsqu'il passe par le méridien, ce qui arrive lorsqu'il se trouve exactement vers le sud; et puisque dans ce moment il fait midi à Magdebourg,

(1) Il est question ici du temps *moyen*. *Voyez* la note qui accompagne la lettre précédente.

je regarde mon horloge, et je m'aperçois qu'elle montre alors $12^h 6' 40''$; d'où je conclus que quand il est midi à Magdebourg, il est déjà après midi à Berlin, et que la différence est $6' 40''$ de temps, qui répondent à $1° 40'$, dont le méridien de Magdebourg est plus vers l'occident que celui de Berlin. Donc, puisque la longitude de Berlin est $31° 7' 15''$, la longitude de Magdebourg sera de $1° 40'$ plus petite, ou bien elle sera $29° 27' 15''$.

De là je vais à Hambourg avec mon horloge, à laquelle je ne touche point; et y observant le midi (car je ne me fierais pas aux horloges publiques qui y marquent les heures), je vois que mon horloge marque déjà $12^h 13' 33''$, de sorte qu'à Berlin il est déjà $13' 33''$ après midi, lorsqu'il est midi à Hambourg; et de là je conclus que le méridien de Hambourg est de $3° 23' 5''$ plus vers l'occident que celui de Berlin; en comptant $15°$ pour une heure, et par conséquent un degré pour 4 minutes de temps, d'où l'on trouve que $13' 33''$ de temps donnent $3° 23' 15''$ pour la différence des méridiens. La longitude de Hambourg sera donc $27° 44'$.

A Hambourg je m'embarque sur un vaisseau avec mon horloge; et ayant fait un long voyage, j'arrive à un lieu où, attendant le midi (dont je détermine le moment par mes observations du soleil), je vois que mon horloge ne montre que $10° 58' 15''$; de sorte qu'à Berlin il est encore avant midi dans ce moment, la différence étant $1^h 1' 45''$; d'où je conclus que le lieu où je suis arrivé est plus vers l'orient que Berlin : et puisque 1 heure donne 15 degrés,

une minute de temps 15′, et 45″ de temps 11′ 15″, la différence des méridiens sera 15° 26′ 15″. Je me trouve donc dans un lieu situé plus vers l'orient que Berlin, dont la longitude est de 15° 26′ 15″ plus grande que celle de Berlin; laquelle étant 31° 7′ 15″, la longitude au lieu où je me trouve sera 46° 33′ 30″. Ainsi je sais sous quel méridien je me trouve, mais je suis encore incertain du point de ce méridien. Pour cet effet j'ai recours aux observations astronomiques, et je cherche la hauteur du pôle, que je trouve précisément de 41°. Sachant de plus que je suis encore dans l'hémisphère boréal de la terre, n'ayant point passé l'équateur, j'apprends que je me trouve actuellement dans un lieu dont la latitude est de 41° boréale, et la longitude 46° 33′ 30″; je prends donc des cartes géographiques, j'y trace le méridien dont la longitude est 46° 33′ 30″, je cherche le lieu dont la latitude est 41°, et je trouve que ce lieu est la ville de Constantinople, sans que j'aie eu besoin de m'informer du nom de la ville à qui que ce soit.

De la même manière, en quelque endroit de la terre que je parvienne avec mon excellente horloge, j'en déterminerai la longitude, et ensuite l'observation de la hauteur du pôle m'en montrera aussi la latitude. Alors je n'ai qu'à prendre un globe terrestre ou de bonnes cartes géographiques, et il me sera aisé de marquer le point qui répond au lieu où je me trouve, quelque inconnu que me soit d'ailleurs le pays.

Cependant on est bien à plaindre que les plus habiles horlogers n'aient pas encore pu réussir à faire

d'aussi excellentes horloges que cette méthode exige. On trouve bien de très-bonnes pendules, mais elles ne marchent régulièrement que tant qu'elles sont fixées dans un appartement tout à fait tranquille, les moindres secousses et même les plus légers ébranlements étant capables de les déranger : ces pendules sont donc absolument inutiles pour les voyages. Aussi comprend-on aisément que le mouvement du pendule qui en règle la marche ne saurait souffrir les agitations auxquelles il serait exposé dans le voyage. Cependant, il y a environ dix ans qu'un ouvrier en Angleterre s'est vanté d'avoir construit une telle horloge, qui n'était pas sensible aux secousses du voyage; et on a même prétendu qu'après l'avoir fait longtemps courir dans un carrosse, on n'y avait pas remarqué le moindre dérangement sur quoi on a effectivement payé à l'inventeur une partie du prix destiné à la découverte de la longitude, et le reste lui devait être payé après qu'on aurait fait l'épreuve dans un long voyage par mer: mais depuis ce temps les gazettes n'en ont plus parlé; d'où il est à présumer que cette entreprise a aussi bien échoué que quantité d'autres qu'on a faites pour ce dessein.

———

LETTRE XXXIII.

(22 septembre 1761.)

Les éclipses de la lune considérées comme une troisième méthode pour déterminer les longitudes.

Au défaut d'une si excellente horloge, dont j'ai eu l'honneur de présenter une idée à V. A., on a regardé jusqu'ici les éclipses de lune comme le plus sûr moyen pour découvrir les longitudes; mais il est dommage que ces phénomènes arrivent si rarement, et qu'on ne puisse pas s'en servir toutes les fois qu'on en a besoin.

V. A. sait que la lune s'éclipse lorsqu'elle passe par l'ombre de la terre : quand cela arrive, on peut remarquer le moment où la lune commence à s'enfoncer dans l'ombre de la terre, de même que le moment où elle en sort; le premier moment est nommé le commencement de l'éclipse, et l'autre la fin; et quand on observe tous ces deux moments, le temps moyen entre eux est nommé le milieu de l'éclipse. Quelquefois la lune s'enfonce tout entière dans l'ombre de la terre, et demeure pendant quelque temps tout à fait invisible; une telle éclipse est appelée *totale*, et alors on peut remarquer encore deux moments, celui où la lune disparaît entièrement, et celui où elle recommence à sortir de l'ombre; celui-là est nommé le commencement de l'*obscuration* entière, et celui-ci la fin de l'*obscuration* entière. Mais quand ce n'est

qu'une partie de la lune qui est obscurcie, une telle éclipse est nommée *partielle*, et on n'y remarque que les moments du commencement et de la fin. D'ailleurs V. A. sait que les éclipses de lune n'arrivent qu'aux temps des pleines lunes, et cela assez rarement.

Cela posé, quand on observe une éclipse de lune en deux lieux différents et situés sous différents méridiens, on y verra bien le commencement de l'éclipse au même moment, mais les horloges de ces lieux ne marqueront pas la même heure ou le même temps : je parle des horloges bien réglées, dont chacune montre précisément 12 heures lorsqu'il est midi au lieu où elle se trouve. Si les deux lieux sont situés sous le même méridien, les horloges montreront bien le même temps, tant au commencement qu'à la fin de l'éclipse; mais si les deux méridiens sont éloignés l'un de l'autre de 15 degrés, ou que la différence de leurs longitudes soit de 15°, les horloges doivent différer d'une heure entière, tant au commencement qu'à la fin de l'éclipse; l'horloge du lieu situé plus vers l'orient montrera une heure de plus ou plus tard que l'autre; de même une différence de 30° en longitude causera une différence de deux heures dans le même temps marqué par les horloges; une différence de 45° en longitude causera une différence de trois heures dans le temps, et ainsi de suite selon la table ci-jointe :

Degrés :	15,	30,	45,	60,	75,	90,	105,	120,	135,	150,	165,	180.
Heures :	1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10,	11,	12.

On voit par là que si la différence en longitude était de 250°, les horloges différeraient de 10 heures tant au commencement qu'à la fin de l'éclipse.

Ainsi réciproquement, quand on observe la même éclipse en deux lieux différents, et qu'on marque exactement le temps de l'horloge au moment du commencement de l'éclipse, on pourra conclure, de la différence entre ces temps marqués, combien ces lieux diffèrent en longitude. Or, celui où le temps est plus avancé sera situé plus vers l'orient, et par conséquent sa longitude plus grande, puisqu'on compte les longitudes de l'occident à l'orient.

C'est aussi par ce moyen qu'on a déterminé la longitude des principaux lieux de la terre, et qu'on a dressé conformément à ces déterminations les cartes géographiques. Mais il fallait toujours comparer les observations faites dans un lieu dont la longitude n'était pas encore connue, avec celles qui ont été faites dans un lieu connu; et, par cette raison, il fallait attendre jusqu'à ce qu'on ait pu faire cette comparaison. Donc, si j'étais parvenu, après un long voyage, à un lieu inconnu, et qu'il s'y présentât l'occasion d'observer une éclipse de lune, cela ne me servirait encore de rien pour connaître ma longitude au moment; je devrais attendre que je fusse de retour pour pouvoir comparer mon observation avec une autre faite dans un lieu connu, et ainsi j'apprendrais trop tard où j'avais été alors. Or, je souhaiterais de me pouvoir éclaircir là-dessus sur-le-champ, pour régler mes mesures.

Mais aussi à cet égard on peut être satisfait depuis

qu'on connaît si exactement le mouvement de la lune, qu'on est en état non-seulement de prédire toutes les éclipses, mais de marquer aussi le moment tant du commencement que de la fin, selon l'horloge d'un lieu connu. V. A. sait que nos almanachs de Berlin marquent toujours pour chaque éclipse le commencement et la fin, selon l'horloge de Berlin. Donc, qui veut faire un long voyage peut acheter un almanach de Berlin; et quand il trouve occasion, dans un lieu inconnu, d'observer une éclipse de lune, et d'en marquer exactement le temps selon une montre qu'il aura bien réglée dans cet endroit par le midi, il n'a qu'à comparer les moments du commencement et de la fin de l'éclipse avec ceux de l'almanach, pour s'assurer de la différence entre le méridien de Berlin et celui qui passe par ce lieu, où il se trouve actuellement.

Cependant, dans cette méthode, outre l'inconvénient que les éclipses de lune arrivent très-rarement, il s'en trouve encore un autre, qui est qu'on ne peut pas assez exactement distinguer le moment quand l'éclipse commence ou finit, puisque cela arrive presque insensiblement, et qu'on pourrait bien se tromper de plusieurs secondes de temps. Mais puisque l'erreur sera à peu près la même pour la fin et le commencement, on cherche le milieu entre les deux moments observés, qui sera le milieu de l'éclipse; et on compare ensuite ce milieu avec celui que l'almanach marque pour Berlin, ou pour un autre lieu connu.

Au reste, dans le cas où les almanachs pour l'au-

née prochaine ne seraient pas encore imprimés, quand quelqu'un veut voyager, ou que son voyage pourrait durer quelques années de suite, on trouve d'autres livres où les éclipses sont déjà calculées pour plusieurs années de suite.

LETTRE XXXIV.

(26 septembre 1761.)

Les observations des éclipses des satellites de Jupiter donnent une quatrième méthode pour déterminer les longitudes.

Les éclipses de soleil peuvent aussi servir à déterminer les longitudes, mais d'une autre manière qui demande des recherches plus profondes. La raison est que le soleil lui-même ne souffre alors aucun obscurcissement; ce n'est que la lune qui se met devant le soleil, et empêche les rayons de parvenir jusqu'à nous : il en est à peu près de même si je mettais mon chapeau devant le soleil pour me garantir de sa lumière, ce qui n'empêche pas que d'autres n'en voient tout l'éclat. Aussi la lune ne couvre le soleil qu'à une partie des habitants de la terre, et nous pouvons voir ici, à Berlin, une éclipse de soleil, pendant qu'à Paris la lumière du soleil ne souffre aucun affaiblissement.

Mais la lune est réellement éclipsée par l'ombre de la terre, et sa propre lumière en est diminuée ou éteinte; de là il arrive que les éclipses de lune sont

vues de la même manière, et partout où la lune se trouve sur l'horizon au temps de l'éclipse.

V. A. comprend par là que s'il y avait encore d'autres corps au ciel qui souffrissent de temps en temps quelque obscurcissement réel, ils pourraient être employés avec le même succès que les éclipses de lune, pour déterminer les longitudes. Or, de tels corps sont les satellites de Jupiter, qui passent même si souvent dans l'ombre de leur planète, qu'il ne se passe presque point de nuit qu'il n'y en ait un d'éclipsé, de sorte que les éclipses des satellites de Jupiter nous fournissent un moyen très-propre à déterminer les longitudes; aussi les astronomes s'en servent-ils avec un bon succès.

V. A. sait que Jupiter a quatre satellites qui font leurs révolutions autour de lui, chacun dans son orbite, comme je l'ai représenté (*fig.* 20) par les cercles décrits autour de Jupiter; j'y ai aussi représenté le soleil, pour marquer l'ombre AOB derrière le corps de Jupiter. D'où l'on voit que, dans notre figure, le premier satellite marqué I est près d'entrer dans l'ombre, le second marqué II vient d'en sortir, le troisième III est encore fort éloigné d'entrer dans l'ombre, et le quatrième IV en est sorti il y a long-temps.

Dès qu'un des satellites entre dans l'ombre, il devient invisible, et cela arrive assez promptement; de sorte que, en quelque endroit que se trouve la terre, on voit subitement évanouir le satellite qu'on avait vu jusque-là assez distinctement. Une telle entrée d'un satellite dans l'ombre de Jupiter est nommée

ersion, et sa sortie de l'ombre une *émersion;* c'est
qu'on voit reparaître subitement le satellite
a été invisible pendant quelque temps.
ant les immersions que les émersions sont éga-
ent propres à déterminer les longitudes, puis-
lles arrivent dans un moment de temps marqué;
orte que, quand on observe un tel phénomène
lusieurs lieux différents de la terre, on doit trou-
dans les temps marqués, selon les horloges de
que lieu, autant de différence que la différence
e les méridiens exige. Il en est de même que si
observait le commencement ou la fin de quel-
éclipse de lune; et la chose alors n'a plus aucune
culté : on est déjà, depuis quelque temps, par-
u à prédire ces éclipses des satellites de Jupiter,
t-à-dire, leurs immersions et leurs émersions; et
a qu'à comparer le temps observé avec le temps
ulé pour un lieu connu, comme pour Berlin,
r en conclure d'abord l'éloignement de son mé-
en de celui de Berlin.
ussi se sert-on de cette méthode partout dans
voyages par terre; mais tant qu'on est dans un
seau, où les besoins sont les plus pressants, on
pas encore trouvé moyen de profiter de cette mé-
de, pour être bien assuré du lieu où l'on est. Si
n pouvait voir avec les yeux les satellites de Jupi-
aussi bien que la lune, la pratique de cette mé-
de n'aurait aucune difficulté par mer; mais puis-
'on ne saurait voir les satellites de Jupiter qu'au
vers d'une lunette de 4 ou 5 pieds au moins, cette
constance cause un obstacle invincible.

V. A. sait que quand on se sert par terre d'une lunette un peu longue, combien il faut d'adresse pour la diriger vers l'objet qu'on veut contempler, et pour la tenir fixe, afin qu'on ne perde pas l'objet; elle en conclura aisément que sur mer, où le vaisseau se trouve dans une agitation continuelle, il doit être presque impossible de découvrir seulement Jupiter; et quand même on l'aurait trouvé, on le perdra de vue au même instant. Mais pour bien observer une immersion ou émersion de quelque satellite de Jupiter, il faut absolument qu'on le puisse regarder paisiblement pendant quelque temps; ce qui n'étant pas possible par mer, il semble qu'on doive renoncer à cette méthode de déterminer les longitudes.

Cependant il y a deux moyens de remédier à cet inconvénient: le premier, de trouver des lunettes fort courtes; par exemple, de six pouces ou encore moins, qui nous découvriraient assez distinctement les satellites de Jupiter; car il n'y a aucun doute qu'il ne soit beaucoup plus aisé de manier de si petites lunettes que d'autres de quatre à cinq pieds de long. On travaille actuellement avec le plus grand succès à cette perfection des lunettes, et il y a grande apparence qu'on y réussira; mais c'est à savoir si de telles lunettes perfectionnées ne demanderont pas autant d'adresse pour les diriger, que les ordinaires qui sont plus longues.

L'autre moyen serait de se ménager un tel siége fixe et immobile sur le vaisseau, qui n'en ressentît point les agitations; il semble qu'un adroit balan-

ment pourrait conduire à ce but. En effet, il n'y pas longtemps que nous avons lu, dans les gazettes, qu'un Anglais prétendait avoir inventé un tel ége ou chaise, et qu'il prétendait par là aussi au ix proposé sur la découverte des longitudes. Il rait raison, puisque par ce moyen on pourrait observer en mer les immersions et émersions des satellites de Jupiter, qui sont sans doute très-propres our déterminer les longitudes : mais depuis ce emps on n'en a plus rien entendu. V. A. jugera isément, d'après cela, à combien de difficultés est ssujettie la découverte des longitudes.

LETTRE XXXV.

(29 septembre 1761.)

Le mouvement de la lune fournit la cinquième méthode de déterminer les longitudes.

Le ciel nous fournit encore une ressource pour parvenir à la découverte des longitudes sans que nous ayons besoin de lunettes, et il semble que les astronomes y mettent la plus grande confiance. C'est la lune qui doit servir à ce dessein, et cela non-seulement quand elle est éclipsée, mais même toujours, pourvu qu'elle soit visible; ce qui est sans doute le plus grand avantage, puisque les éclipses arrivent trop rarement, et que les immersions et émersions des satellites de Jupiter n'arrivent pas

non plus à notre gré; puisqu'il s'écoule tous les ans un temps assez considérable pendant lequel la planète de Jupiter n'est pas visible, au lieu que la lune s'offre presque toujours à notre vue.

V. A. aura sans doute remarqué que la lune se lève tous les jours plus tard presque de trois quarts d'heure. La raison en est que la lune n'est pas attachée à un lieu fixe par rapport aux étoiles fixes, qui conservent toujours la même situation entre elles, quoiqu'elles paraissent emportées par le ciel pour achever chaque jour une révolution autour de la terre. Je parle ici selon les apparences; car, en effet, c'est la terre qui tourne tous les jours autour de son axe, et le ciel et les étoiles demeurent en repos; tandis que le soleil et les planètes changent continuellement de place à l'égard des étoiles fixes. Or, la lune est assujettie aux plus grands changements parmi les étoiles; et comme d'un jour à l'autre elle change très-considérablement de place, c'est précisément ce qui la rend propre à déterminer les longitudes.

Si aujourd'hui on voit la lune près d'une certaine étoile fixe, demain à la même heure elle en paraîtra très-considérablement éloignée vers l'orient, et quelquefois la distance surpasse même 15 degrés. La vitesse de son mouvement n'est pas toujours la même, cependant on est parvenu à la déterminer très-exactement pour tous les jours; ce qui nous met en état de connaître d'avance sa vraie place dans le ciel pour toutes les heures de chaque jour, en rapportant les heures aux horloges qui sont sous un cer-

tain méridien connu, tel, par exemple, qu'est celui de Berlin ou de Paris.

Cela établi, supposons qu'après un long voyage je me trouve en mer dans un lieu tout à fait inconnu, et voyons comment je pourrai me servir de la lune pour connaître la longitude de mon lieu; car pour la latitude la chose n'a aucune difficulté, ni même sur la mer, où l'on connaît des moyens assez sûrs pour observer la hauteur du pôle à laquelle la latitude est toujours égale. Je dirigerais donc toute mon attention sur la lune, je la comparerais avec les étoiles fixes qui lui sont les plus proches, et de là je conclurais son vrai lieu au ciel par rapport aux étoiles fixes. V. A. sait qu'on a des globes célestes sur lesquels toutes les étoiles fixes sont marquées, et qu'on fait aussi des cartes célestes semblables aux cartes géographiques, sur lesquelles on représente les étoiles fixes qui se trouvent dans une certaine partie du ciel. En prenant donc une telle carte céleste, où les étoiles fixes dont la lune est voisine sont exprimées, il me sera aisé d'y marquer le vrai lieu où la lune se trouve alors; et ma montre que j'aurai bien réglée à ce lieu, après y avoir observé le midi, me marquera le temps de cette observation. Ensuite, par la connaissance du mouvement de la lune, je calcule pour Berlin à quelle heure la lune a dû paraître au même lieu du ciel où je l'ai vue. Si le temps observé convient parfaitement avec le temps de Berlin, ce sera une marque que mon lieu est exactement sous le méridien de Berlin, et que par conséquent la longitude est la même. Mais si le

temps de mon observation est différent de celui de Berlin, cette différence m'indiquera celle qui est entre les méridiens; et, comptant 15 degrés pour chaque heure de temps, je conclurai de combien la longitude de mon lieu est plus grande ou plus petite que celle de Berlin; toujours la longitude du lieu qui a le temps le plus avancé étant aussi la plus grande.

Voilà le précis de cette méthode de déterminer les longitudes par les simples observations de la lune. Or, pour mieux réussir dans cette opération, je remarque que les plus heureux moments pour bien déterminer le lieu de la lune sont lorsqu'une étoile fixe se cache derrière la lune; on nomme cela une *occultation*, et il y a deux moments à observer: celui où la lune, par son mouvement, couvre l'étoile; et l'autre, où l'étoile reparaît. Les astronomes sont très-attentifs à bien saisir ces moments des occultations, pour en conclure le vrai lieu de la lune.

Au reste, je m'attends à une objection que V. A. me fera à l'égard de la montre ou de l'horloge dont je suppose muni notre observateur par mer, après avoir soutenu l'impossibilité des horloges parfaites, qui marchent toujours également, nonobstant les secousses du vaisseau. Mais cette impossibilité ne regarde que de telles horloges, qui demeurent justes pendant un très-long intervalle de temps, sans qu'on ait besoin de les régler: or, pour les observations dont il s'agit ici, une montre ordinaire peut être suffisante, pourvu qu'elle marche

uniformément pendant quelques heures, après l'avoir bien réglée sur le midi du lieu où l'on se trouve; quand on doute que l'on y puisse encore compter le soir ou la nuit, lorsqu'on observera la lune, les étoiles nous fourniront aussi des moyens très-sûrs pour la régler de nouveau : car, puisque la situation du soleil par rapport aux étoiles fixes nous est parfaitement connue pour tout temps, une seule observation de quelque étoile suffit pour déterminer le lieu où le soleil se doit trouver alors, d'où nous pouvons conclure l'heure que l'horloge, quand elle est bien réglée, devrait montrer. Ainsi, au même instant où nous aurons fait l'observation de la lune, nous sommes en état de régler aussi notre montre par les étoiles, et pendant un si petit intervalle de temps toute montre est censée marcher régulièrement.

LETTRE XXXVI.

(3 octobre 1761.)

Des avantages de cette dernière méthode sur les précédentes, et de son degré de précision.

Parmi ces différentes méthodes de trouver les longitudes, la dernière, fondée sur les observations de la lune, semble mériter la préférence, puisque les autres, ou sont assujetties à trop de difficultés, ou bien l'occasion de s'en servir se présente trop rarement. Or, V. A. comprendra aisément que le

succès de cette méthode dépend uniquement du degré de précision qu'on atteint dans ces opérations, et que les erreurs qu'on y commet doivent conduire à des conclusions sur lesquelles on ne saurait compter. Il sera donc fort important d'expliquer à V. A. à quel degré de précision on peut espérer d'atteindre en mettant en usage cette méthode; laquelle étant fondée sur le changement considérable que la lune éprouve dans son lieu d'un jour à l'autre, nous en pouvons conclure que si le mouvement de la lune était encore plus rapide, il serait encore plus propre à nous découvrir les longitudes, et il nous procurerait un plus haut degré de précision. Mais si, au contraire, ce mouvement était beaucoup plus lent, et que nous ne puissions presque pas distinguer son changement d'un jour à l'autre, on voit bien que nous n'en saurions aussi tirer aucun secours pour la connaissance des longitudes.

Supposons donc que la lune change de place parmi les étoiles fixes par un espace de 12 degrés pendant 24 heures, puisqu'en effet son changement est pour la plupart plus considérable; elle changera donc d'un degré pendant 2 heures, et d'un demi-degré ou de 30 minutes pendant une heure. Par conséquent, si nous nous trompions, dans l'observation d'un lieu de la lune, de 30 minutes, il serait de même que si nous observions la lune une heure ou plus tôt ou plus tard, et nous commettrions une erreur d'une heure dans la conclusion sur la différence des méridiens. Or, une heure de

rence dans les méridiens répond à 15 degrés la longitude des méridiens, et par conséquent nous tromperions de 15 degrés dans la longi- même du lieu que nous cherchons; ce qui se- ans doute une erreur si énorme, qu'il vaudrait que autant ne savoir rien du tout; et la seule e du voyage, c'est-à-dire, du chemin et de la , quelque incertaine qu'elle soit, ne nous jet- t jamais dans une erreur si grossière. Aussi rait-il être bien maladroit pour se tromper de ninutes dans le lieu de la lune, et les instru- ts dont on se sert devraient être extrêmement s, ce qui n'est pas à présumer.

pendant, quelque excellents que soient les ins- ents, et quelques soins qu'on y apporte, il est ssible d'éviter toute erreur, et il faut être bien le pour ne pas se tromper d'une minute dans la mination du lieu de la lune. Or, puisque le lieu a lune change de 30 minutes dans une heure, o minutes de temps, il changera d'une minute eux minutes de temps. Donc, quand on ne se pe que d'une minute dans le lieu de la lune, il aîtra dans la différence des méridiens une er- de deux minutes de temps. Or, une heure ou ninutes répondant à 15 degrés dans la longi- , il en résultera une erreur d'un demi-degré la longitude; et ce degré de précision pourrait être suffisant, pourvu que nous y puissions at- dre.

squ'ici j'ai supposé notre connaissance du mou- ent de la lune si parfaite, que, pour un méridien

connu, nous pouvons déterminer le vrai lieu de la lune pour chaque moment sans aucune erreur; mais nous sommes encore fort éloignés de ce point de perfection. Il n'y a pas encore vingt ans qu'on s'est trompé de 6 minutes et davantage dans ce calcul, et ce n'est que depuis ce temps que l'habile professeur Mayer, à Göttingen, poursuivant la route que j'avais proposée, est parvenu à diminuer cette erreur au-dessous d'une minute pour la plupart. Il pourrait donc bien arriver que du côté du calcul nous commettions aussi une erreur d'une minute, laquelle étant jointe à l'erreur d'une minute commise dans l'observation du lieu de la lune, doublera l'erreur qui en rejaillira sur la longitude du lieu où nous nous trouvons, et par conséquent cette erreur pourrait bien monter à un degré entier. Il est bon de remarquer encore que, si la lune parcourait un plus grand espace en 24 heures que ne font 12 degrés, l'erreur dans la longitude sera encore moins considérable.

Peut-être trouvera-t-on moyen de diminuer encore davantage les erreurs auxquelles nous sommes assujettis tant dans l'observation que dans le calcul, et alors cette méthode nous découvrirait la longitude à moins d'un degré près. Mais aussi, sans cette perfection, on peut espérer d'arriver à un plus haut degré de précision. On n'a qu'à faire plusieurs pareilles observations, ce qui sera possible, si l'on reste plusieurs jours en un endroit; alors il n'est pas à craindre que toutes les conclusions soient également défectueuses; quelques-unes marqueront

la longitude cherchée trop grande, d'autres trop petite; et par conséquent, quand on prend un milieu entre toutes les conclusions, on pourra être assuré que cette longitude ainsi conclue différera beaucoup moins de la vérité que d'un degré.

Or, les Anglais, qui par leur générosité ont voulu encourager cette découverte, y ont mis un triple prix, l'un de 10 000, le second de 15 000, et le troisième de 20 000 livres sterling. Le premier est destiné à celui qui pourra trouver les longitudes à un degré près; de sorte qu'on puisse être assuré que l'erreur ne surpasse point un degré. Le second prix est destiné à celui qui satisfera à la question encore plus exactement, de sorte que l'erreur qu'on aurait à craindre ne surpasse jamais deux tiers d'un degré, ou 40 minutes. Enfin, le troisième sera donné à celui qui sera capable de déterminer les longitudes si exactement, que l'erreur ne monte jamais au delà d'un demi-degré ou de 30 minutes; l'on ne prétend point à un plus haut degré de précision. Tous ces prix se trouvent encore dans leur entier, outre la portion qui a été délivrée à cet horloger qui a prétendu avoir fait des montres parfaites. M. Mayer prétend actuellement au plus haut, et, à mon avis, avec raison.

LETTRE XXXVII.

(6 octobre 1761.)

Sur la boussole, et sur les propriétés d'une aiguille aimantée.

V. A. sera maintenant suffisamment instruite sur ce qui regarde la découverte des longitudes; j'ai eu l'honneur de lui exposer plusieurs voies qui peuvent conduire à leur détermination.

La première et la plus naturelle est d'observer soigneusement le chemin et la direction du voyage; or, tant les tempêtes auxquelles on est souvent exposé par mer, que les courants, rendent cette méthode impraticable.

La seconde demande la construction d'une si parfaite horloge qui marche toujours uniformément, nonobstant les secousses qu'elle éprouve dans le voyage; or, les artistes n'ont pas encore trouvé moyen d'exécuter un tel ouvrage.

La troisième est fondée sur l'observation des éclipses de lune, et on ne saurait rien désirer de mieux; le seul défaut est que cette occasion se présente trop rarement, et qu'on ne peut pas s'en servir lorsqu'on en a le plus de besoin.

La quatrième regarde les éclipses des satellites de Jupiter, qui seraient sans doute très-propres à ce dessein, pourvu qu'on trouvât moyen de se servir par mer des lunettes, sans lesquelles on ne saurait voir ces satellites.

Enfin, les observations de la lune même nous ont fourni la cinquième, qui paraît la plus praticable, pourvu qu'on soit en état d'observer si exactement le lieu de la lune dans le ciel, que les erreurs qu'on n'y saurait éviter ne surpassent jamais une minute, afin qu'on soit assuré qu'on ne se trompe pas de plus d'un degré dans la détermination de la longitude.

C'est sur ces cinq méthodes que ceux qui ont travaillé jusqu'ici sur cette question ont principalement dirigé leurs spéculations; mais il y a encore une sixième qui semble aussi propre à nous conduire à la résolution de ce problème, pourvu qu'elle soit mieux cultivée; et peut-être même un jour nous fournira-t-elle encore le plus sûr moyen de trouver les longitudes, quoiqu'à l'heure qu'il est nous en soyons encore fort éloignés.

Cette méthode n'est pas tirée du ciel, elle est uniquement attachée à la terre, étant fondée sur la nature de l'aimant et de la boussole. L'explication de cette méthode m'ouvre donc une nouvelle carrière d'entretenir V. A. sur l'important article de la physique qui regarde la force magnétique; et j'espère qu'elle sera bien aise d'honorer de son attention les éclaircissements que j'aurai l'honneur de proposer là-dessus.

D'abord, je bornerai mes réflexions au sujet dont il s'agit ici, c'est-à-dire, à la découverte des longitudes; et, pour cet effet, il me suffit de remarquer, en général, que l'aimant est une pierre qui a la qualité d'attirer le fer, et de se disposer selon une

certaine direction, et qu'elle communique la même qualité au fer et à l'acier, quand on le frotte ou touche seulement d'un aimant : or je me propose dans la suite de mieux approfondir cette qualité, et d'en expliquer la nature.

Je commencerai donc par donner la description d'une aiguille aimantée, laquelle, étant montée d'une certaine manière pour l'usage de la navigation, porte le nom de boussole.

Pour cet effet, on fait fabriquer avec de bon acier une aiguille à peu près de la figure 21, dont un bout B est pointu, pour le mieux distinguer de l'autre A ; elle est munie au milieu C d'un petit chaperon creusé par en bas pour mettre l'aiguille sur un pivot ou pointe D, comme on peut le voir par la seconde figure.

Supposons que les deux parties soient tellement ajustées qu'elles se contre-balancent parfaitement, et que l'aiguille puisse tourner librement sur le pivot, de sorte qu'en quelque situation qu'on la mette, elle y puisse demeurer en repos ou en équilibre. Avant que d'aimanter cette aiguille, il est bon de la tremper pour la rendre aussi dure qu'il est possible. Ensuite, qu'on la frotte ou touche d'un aimant excellent, et d'abord elle sera magnétique. Les deux bouts ne se balanceront plus, mais l'un comme B descendra en bas, tout comme s'il était devenu plus pesant. De sorte que, pour la rétablir en équilibre, il faudrait ou ôter quelque chose du bout B, ou ajouter un petit poids au bout A ; or, les ouvriers, prévoyant ce changement causé par le magnétisme,

ès le commencement, le bout B plus léger que A, afin que l'aiguille, après avoir été aiman- enne d'elle-même la situation horizontale.
e aiguille acquiert alors encore une autre été bien plus remarquable : elle n'est plus in- nte à toutes les situations, comme aupara- mais elle en affecte une préférablement à les autres, et se dispose d'elle-même, en sorte bout B est dirigé à peu près vers le nord, re bout A vers le sud; ou bien la direction guille aimantée convient à peu près avec la éridienne.
se souvient que, pour tracer la ligne méri- qui nous montre le nord et le sud, il faut ir aux observations astronomiques, puisque ivement du soleil et des étoiles détermine lirection ; de sorte que, quand on n'est pas i des instruments nécessaires, et surtout le ciel est couvert, on ne saurait tirer aucun s du ciel pour tracer la ligne méridienne; tte propriété de l'aiguille aimantée est d'autant lmirable, qu'elle nous montre en tout temps ut lieu la direction vers le nord, de laquelle lent les autres vers l'est, sud et ouest. Par iison, l'usage de l'aiguille aimantée ou de la le est devenu universel, puisque, dans plu- occasions, il est absolument nécessaire qu'on se ces principales directions du monde.
surtout dans la navigation la boussole pro- s plus grands avantages, puisque le cours du u doit toujours être dirigé vers un certain

côté du monde pour marcher vers un lieu proposé, conformément aux cartes géographiques ou marines, qui nous marquent la direction du cours qu'il faut tenir. Aussi, avant la découverte de la boussole, on n'a pas été en état d'entreprendre de longs voyages par mer; à peine osait-on s'éloigner des côtes, et dès qu'on les perdait de vue, on risquait de s'égarer sur mer, à moins que le ciel ne fût clair et que les étoiles ne montrassent les côtés du monde.

Un vaisseau en pleine mer, sans la connaissance des côtés du monde, se trouve précisément dans le même état qu'un homme auquel on aurait bandé les yeux, qui devrait marcher vers l'église du Dôme à Magdebourg; un tel homme, lorsqu'il s'imagine aller vers un certain côté, marcherait vers un tout autre. C'est donc la boussole qui est le principal guide dans la navigation; et ce n'est qu'après cette importante découverte qu'on a hasardé de traverser le grand Océan, et qu'on a découvert le nouveau monde; et en effet, que ferait un pilote dépourvu d'une boussole, pendant ou après une tempête, quand il ne peut tirer aucun secours du ciel, quelque cours qu'il tienne? Il ne saurait pas s'il marche vers le nord ou vers le sud, ou quelque autre côté du monde; il s'égarerait bientôt au point de ne pouvoir plus se sauver. Mais la boussole le tire d'abord de ce grand embarras, en lui indiquant les côtés du monde, et l'empêche de s'égarer; d'où V. A. jugera aisément combien la découverte de l'aiguille aimantée ou de la boussole est importante.

LETTRE XXXVIII.

(10 octobre 1761.)

clinaison de la boussole et sur la manière de l'observer.

qu'une aiguille aimantée affecte une cer-
ituation dirigée du sud vers le nord, il y a
ises accidentelles capables de déranger cette
n, qu'il faut par conséquent tâcher d'éviter
igneusement. C'est le voisinage de quelque
, ou fer ou acier, qui trouble cette direction.
'a qu'à présenter un couteau à une aiguille
ée, elle quittera d'abord sa direction natu-
our se diriger vers le couteau; et, en faisant
r le couteau autour de l'aiguille, on lui peut
rendre toutes les directions possibles. Par
iison, pour être assuré que l'aiguille est dis-
lans la direction naturelle, il faut en éloigner
r ou acier, aussi bien que les aimants; et il est
it plus facile de satisfaire à cette condition,
s matières n'en troublent la situation que
elles sont fort proches; dès qu'elles en sont
ées tant soit peu, leur effet devient insensible,
i que ce ne soit point un aimant très-fort, qui
iit bien agir sur l'aiguille à la distance de plu-
pieds.

s un tel effet n'est pas à craindre du seul fer,
t la raison pour laquelle on peut se servir de
ssole, même dans les mines de fer. Car V. A.

comprend aisément que dans les mines sous la terre on se trouve dans le même cas que sur mer lorsque le ciel est couvert, et qu'on y est également obligé de se régler sur les côtés du monde, en poussant les mines suivant une certaine direction. On dresse aussi des plans qui représentent la route de tous les tours et de toutes les allées qu'on a creusées sous la terre, et dans cet ouvrage on se règle uniquement sur la boussole; c'est l'objet de la science qu'on nomme la géométrie souterraine.

Pour revenir à notre boussole ou aiguille aimantée, j'ai d'abord remarqué qu'elle ne se dirige vers le nord qu'à peu près; en effet, ce n'est que par abus quand on dit communément que l'aimant a la propriété de se diriger vers le nord. Après avoir fait plusieurs aiguilles aimantées, j'ai toujours trouvé qu'ici à Berlin leur direction s'écartait de la véritable ligne méridienne d'environ quinze degrés; or, une aberration de 15° est déjà fort considérable.

La *fig.* 22 représente d'abord la vraie ligne méridienne tirée du nord au sud, et ensuite celle qui lui est perpendiculaire, marquant à droite l'est, et à gauche l'ouest. Or, l'aiguille aimantée AB n'est pas dirigée sur la méridienne, mais elle s'en écarte de l'angle BO *Nord*, qui est de 15°; on nomme cet angle la *déclinaison*, et quelquefois aussi la *variation* de la boussole ou de l'aiguille aimantée; et puisque le bout le plus proche du nord B, qu'on nomme toujours le bout boréal, s'en écarte vers l'ouest ou vers l'occident, on dit que la déclinaison est occidentale de 15°.

Ayant donc une fois déterminé la déclinaison de l'aiguille aimantée, on peut s'en servir aussi bien que si elle montrait précisément le nord. On entoure ordinairement l'aiguille d'un cercle, et alors on n'a qu'à marquer le nord à la juste distance du bout boréal B de l'aiguille, afin qu'elle en décline de 15° vers l'occident, et la ligne nord-sud nous marquera la vraie ligne méridienne avec les quatre principaux côtés du monde, nord, est, sud, ouest.

Pour déguiser mieux le secret, on cache l'aiguille aimantée dans un cercle de carton, comme la figure le fait voir, excepté que l'aiguille n'est plus visible; de sorte que le carton fait avec elle un seul corps qu'on met au centre sur un pivot, afin que le cercle avec l'aiguille puisse se tourner librement ; et alors le cercle prendra toujours cette situation, que le point marqué nord soit dirigé précisément vers le nord, pendant que le bout boréal de l'aiguille, qu'on ne voit point, s'en écarte en effet d'un angle de 15° vers l'occident. Cette construction ne sert qu'à déguiser la déclinaison, que le vulgaire regarde comme un défaut, quoiqu'il soit plutôt un digne objet de notre admiration, comme nous le verrons bientôt; et le carton ne faisant qu'augmenter le poids de l'aiguille, empêche qu'elle ne puisse plus tourner si librement que si elle était plus légère.

Pour prévenir cet accident et se servir mieux de la boussole, on pose l'aiguille dans une boîte ronde, dont la circonférence est divisée en 360 degrés, et porte, outre cela, les noms des principaux côtés du monde. Au centre se trouve le pivot ou la pointe

qui porte l'aiguille, laquelle affectant une certaine direction, on tourne la boîte jusqu'à ce que le bout boréal de l'aiguille B réponde au juste point dans la circonférence, c'est-à-dire au 15e degré, en comptant depuis le nord vers l'occident; et alors les noms marqués sur la circonférence conviendront avec les vrais côtés du monde.

Mais par mer on se sert pourtant des aiguilles enchâssées dans des cercles de carton, dont la circonférence même est divisée en 360 degrés, pour n'être pas obligé de tourner la boîte : alors le cercle de carton, qu'on nomme boussole, marquant les vrais côtés du monde, on n'a qu'à y rapporter la route que tient le vaisseau, pour savoir vers quel côté le vaisseau court, si c'est au nord, au sud, à l'est, à l'ouest, ou à quelque direction moyenne. C'est aussi sur la boussole qu'on juge les vents, ou la contrée d'où ils soufflent; puisque c'est de là qu'on leur impose des noms. Cependant il faut être bien assuré de la déclinaison ou variation de la boussole; nous l'avons bien trouvée ici de 15° vers l'ouest, mais en d'autres lieux sur la terre elle pourrait être différente, comme j'aurai l'honneur de le faire voir dans la suite.

LETTRE XXXIX.

(13 octobre 1761.)

Sur la variation que la déclinaison de la boussole éprouve au même endroit.

Quand j'ai dit que la déclinaison de la boussole st de 15° vers l'occident, cela ne se doit entendre ue de Berlin et pour le temps présent; car on a emarqué que non-seulement dans les différents en- troits de la terre cette déclinaison est différente, nais qu'elle change aussi avec le temps dans le nême lieu.

Ainsi à Berlin la déclinaison magnétique est à pré- sent beaucoup plus grande qu'autrefois : je me sou- viens encore très-bien qu'elle n'a été que 10°; et au siècle passé il y eut un temps où elle fut nulle, de sorte que la situation de l'aiguille aimantée con- vint alors exactement avec la ligne méridienne. Cela est arrivé environ l'an 1670, et depuis ce temps la déclinaison est successivement devenue de plus en plus grande vers l'ouest jusqu'à 15°, comme elle est aujourd'hui; or, il y a apparence que de ce temps-ci elle ira de nouveau en diminuant, jusqu'à ce qu'elle revienne nulle une seconde fois. Ce n'est cependant qu'une conjecture, et nous sommes en- core bien éloignés de pouvoir prédire quelque chose de certain là-dessus.

D'ailleurs nous savons certainement qu'avant l'époque de 1670 la déclinaison a été contraire, ou dirigée vers l'orient; et plus nous remontons au delà de ce terme, plus nous trouvons que la déclinaison est grande vers l'orient. Or, nous ne saurions remonter plus haut qu'au temps où l'aiguille aimantée fut découverte, et qui tombe dans le quatorzième siècle; et encore ici à Berlin, c'est bien longtemps après que cette découverte a été connue, qu'on a commencé à en observer la déclinaison, parce que d'abord on ne s'était pas encore aperçu que l'aiguille aimantée s'écartât de la ligne méridienne.

Mais à Londres, où l'on a été plus attentif sur cet article, on a observé la déclinaison magnétique l'an 1580 de 11°15′ Est, en 1622 de 6°0′ Est, en 1634 de 4° 5′ Est. En 1657 il n'y eut point de déclinaison, mais en 1672 elle fut de 2° 30′ Ouest, en 1692 de 6°0′ Ouest; et à présent elle pourrait bien être de 18° Ouest, ou davantage. D'où V. A. voit qu'au commencement du siècle passé elle a été environ 8° vers l'est; que depuis elle a successivement diminué jusqu'à ce qu'elle est devenue insensible en 1657, et qu'après ce temps elle est devenue occidentale ou vers l'ouest, en augmentant jusqu'à présent.

A Paris, elle a presque tenu le même ordre, mais elle fut nulle l'an 1666, ou neuf ans plus tard qu'à Londres; d'où V. A. apprendra la plus grande bizarrerie dans la diversité des déclinaisons, tant par rapport aux divers lieux de la terre pour le même

emps, que par rapport au même lieu pour des emps différents (1).

A présent, non-seulement par toute l'Europe, nais aussi par toute l'Afrique et dans la plus grande partie de l'Asie, la déclinaison est occidentale; mais en quelques lieux plus grande, en d'autres plus petite que chez nous. Il y a des contrées en Europe où elle est plus grande que chez nous, savoir, en Écosse et en Norvége, où la déclinaison sera bien au delà 20°; en Espagne, en Italie et en Grèce, au contraire, elle est plus petite, et environ de 12°; sur les côtes occidentales de l'Afrique elle est environ 10°, et sur les orientales 12°. Mais avançant dans l'Asie vers l'est, elle diminue successivement, et s'évanouit même au milieu de la Sibérie à Jeniseisk; elle disparaît encore à la Chine à Pékin, et aussi au Japon; mais au delà de ces endroits, plus vers l'est, la déclinaison devient orientale, et va en augmentant en ce sens par la partie boréale de la mer Pacifique jusqu'aux côtes occidentales de l'Amérique, d'où elle va de nouveau en diminuant, jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse derechef en Canada, à la Floride, aux îles Antilles, et de là vers les côtes du Brésil. Au delà de ces contrées plus vers l'orient, c'est-à-dire vers l'Europe et l'Afrique, elle redevient occidentale, tout comme je l'ai déjà remarqué.

Or, pour avoir une parfaite connaissance de l'état présent de la déclinaison magnétique, il fau-

(1) A Paris, la déclinaison ouest est allée en croissant jusqu'en 1819, époque où elle a atteint la valeur *maximum* d'environ 22° 25'. Elle va maintenant en diminuant.

drait être en état de marquer pour tous les lieux, tant sur terre que sur mer, de quelle grandeur est à présent la déclinaison magnétique, et si elle tend vers l'occident ou vers l'orient. Une telle connaissance serait sans doute très-estimable, mais elle n'est point du tout à espérer; il faudrait qu'il y eût à présent partout des hommes habiles, qui, observant chacun dans son lieu la déclinaison magnétique, nous communiquassent leurs observations avec exactitude : cependant, nous devrions certainement attendre encore quelques années, jusqu'à ce que les plus éloignées nous soient parvenues; par conséquent nous n'arriverions à cette connaissance qu'au bout de quelques années. Or, quoique dans deux ou trois ans la déclinaison de l'aiguille aimantée ne change pas considérablement, ce changement, quelque petit qu'il soit, empêcherait toutefois que la connaissance de toutes ces observations, faites dans les différentes contrées de la terre, nous éclaircissent parfaitement sur l'état présent des différentes déclinaisons de l'aiguille aimantée.

Il en est de même des temps passés, et à chaque année répond un certain état de déclinaison magnétique qui lui est propre, et qui le distingue de tous les autres temps, tant passés que futurs. Cependant il serait bien à souhaiter que nous eussions un tel état bien détaillé pour une seule année, et nous ne manquerions pas d'en tirer des éclaircissements très-importants.

Feu M. Halley, très-célèbre astronome d'Angleterre, a tâché de nous donner un tel état de la

déclinaison magnétique pour l'année 1700, fondé sur un grand nombre d'observations qui ont été faites en plusieurs lieux, tant sur terre que sur mer; mais outre que des contrées très-considérables, où de telles observations n'ont pas été faites, y ont été omises, la plupart de celles qu'il a employées ont été faites plusieurs années avant cette époque de 1700; de sorte que jusque-là la déclinaison a pu souffrir des changements assez considérables. D'où il s'ensuit que cet état, qu'on trouve représenté sur une carte générale de la terre, ne saurait être regardé que comme très-défectueux : d'ailleurs, à quoi nous servirait-il à présent de savoir l'état de la déclinaison magnétique pour l'année 1700, qui depuis ce temps est très-considérablement changé?

D'autres géographes anglais ont bien donné depuis une semblable carte, où toutes les déclinaisons devraient être représentées telles qu'elles ont été l'an 1744. Mais outre que cette carte a les mêmes défauts que celle de Halley, et que les observations leur manquaient encore pour plusieurs contrées, ils n'ont pas balancé à remplir ces espaces vides, en consultant la carte de Halley, qui n'avait plus certainement lieu l'an 1744. D'où V. A. jugera que notre connaissance sur cet important article de la physique est encore extrêmement imparfaite.

LETTRE XL.

(17 octobre 1761.)

Sur la carte des déclinaisons, et de quelle manière elle pourrait servir à découvrir les longitudes.

Il sera bon d'expliquer aussi de quelle manière Halley s'y est pris pour représenter les déclinaisons magnétiques dans la carte qu'il a dressée pour l'année 1700, afin que si V. A. voit une telle carte, elle en comprenne la construction.

D'abord, il a marqué à chaque endroit la déclinaison de l'aiguille aimantée, telle qu'elle y a été observée; parmi tous ces lieux, il a distingué ceux où il n'y eut point du tout de déclinaison, et il a vu que tous ces lieux tombent dans une certaine ligne qu'il nomme la ligne de nulle déclinaison, puisque partout sous cette ligne la déclinaison était alors nulle. Cette ligne n'était ni un méridien, ni un parallèle, mais elle traversait par des tours très-obliques l'Amérique septentrionale, et en sortait près les côtes de la Caroline; de là elle se courbait pour traverser la mer Atlantique entre l'Afrique et l'Amérique. Outre cette ligne, il en découvrit encore une autre où la déclinaison s'évanouissait pareillement; celle-ci descendait par le milieu de la Chine, et passait de là par les îles Philippines et la Nouvelle-Hollande. L'on peut bien juger par le trait de ces deux

gnes, qu'elles ont une communication près de l'un l'autre pôle de la terre.

Après avoir fixé ces deux lignes de nulle déclinaison, M. Halley a remarqué que partout entre la première et la dernière, en passant de l'occident vers l'orient, c'est-à-dire, vers toute l'Europe, l'Afrique et presque toute l'Asie, la déclinaison était occidentale; or, de l'autre côté au delà de ces deux lignes, c'est-à-dire, dans toute la mer Pacifique, la déclinaison était orientale. Ensuite, ayant fixé ces deux lignes comme principales, il allait considérer tous les lieux où la déclinaison était de 5° occidentale; d'où il voyait que par tous ces lieux il pouvait encore commodément tirer une ligne, qu'il nomme la ligne de 5° occidentale; il trouvait aussi deux lignes de cette nature, dont l'une accompagnait, pour ainsi dire, la première sans déclinaison, et l'autre la dernière. Il en fit de même des lieux où la déclinaison était de 10°, ensuite de 15°, de 20°, etc., et il vit que les lignes de ces grandes déclinaisons étaient bornées vers les pôles, pendant que celles des petites déclinaisons traversaient toute la terre et passaient par l'équateur.

En effet, sous l'équateur, la déclinaison ne saurait à peine surpasser 15°, tant vers l'ouest que vers l'est; mais, en approchant des pôles, on peut arriver à des lieux où la déclinaison surpasse 58° et 60°; il y en aura aussi sans doute où elle est encore plus grande, surpassant même 90° et plus, où le pont boréal de l'aiguille se tournera par conséquent vers le sud.

Enfin, après avoir aussi tiré de semblables lignes par les lieux où la déclinaison était orientale de 5°, 10°, 15°, et ainsi de suite, M. Halley a rempli de cette manière toute la carte qui représente la surface entière de la terre de telles lignes, sous chacune desquelles la déclinaison est partout la même, pourvu que les observations ne manquent pas. Aussi, M. Halley a-t-il été assez scrupuleux pour ne pas continuer ces lignes au delà des lieux dont il avait des observations; ce qui est la raison que la plus grande partie de sa carte est vide de ces lignes.

Mais en cas qu'on eût une telle carte juste et complète, on y verrait d'un coup d'œil quelle déclinaison aurait régné à chaque endroit dans le temps pour lequel la carte aurait été dressée; car, quand même le lieu proposé ne se trouverait pas précisément sous une des lignes marquées, en le comparant avec les deux lignes entre lesquelles il serait situé, on estimerait aisément la déclinaison moyenne qui lui conviendrait. Ainsi, si je me trouvais entre les lignes de 10° et de 15° de déclinaison occidentale, je serais certain que la déclinaison y serait plus grande que 10° et moindre que 15°; et, selon que je serais plus proche de l'une ou de l'autre, je trouverais aisément le juste milieu qui m'indiquerait la véritable déclinaison.

V. A. reconnaîtra sans difficulté par là que si l'on avait une telle carte exacte, elle nous servirait à découvrir les longitudes, au moins pour le temps auquel elle conviendrait. Supposons, pour expliquer cette méthode, que nous ayons une telle carte

ressée pour cette année, où nous verrions d'abord s deux lignes tracées par les endroits où la déclinaison est nulle ; ensuite aussi deux lignes où la éclinaison serait de 5°, de 10°, de 15°, de 20°, nt occidentale qu'orientale : supposons même ue, pour une plus grande exactitude, ces lignes ient tirées de degré en degré, et que je me ouve quelque part en mer ou dans un pays inconnu, je tirerais donc d'abord une ligne méridienne, pour voir combien ma boussole s'en carte, et je trouverais, par exemple, que la déclinaison est précisément de 10° vers l'est; alors je rendrais ma carte, j'y chercherais les deux lignes ous lesquelles la déclinaison est de 10° vers l'est, t je serais sûr que je me trouve sous l'une ou l'autre de ces deux lignes, ce qui m'éclaircirait déjà beaucoup dans mon incertitude. Enfin, j'observerais la hauteur du pôle, qui étant égale à la latitude lu lieu où je me trouverais, il ne me resterait plus qu'à marquer sur les deux lignes mentionnées les points dont la latitude serait la même que celle que e viens d'observer; et alors toute mon incertitude erait réduite à deux points très-éloignés l'un de 'autre : or, les circonstances de mon voyage décideront aisément lequel de ces deux lieux est celui où e me trouve actuellement.

V. A. conviendra que cette méthode serait presque la plus commode de toutes celles que j'ai eu honneur d'expliquer, pourvu que nous eussions e telles cartes, comme je viens de supposer. Mais 'est précisément ce qui nous manque; et, comme

nous sommes encore fort éloignés de pouvoir dresser, pour un temps passé, une telle carte qui ne nous servirait à rien pour le temps présent, faute d'une suffisante quantité d'observations, nous sommes encore moins instruits de tous les changements de la déclinaison que chaque endroit éprouve par la suite du temps. Les observations faites jusqu'ici nous font voir que quelques endroits sont assujettis à des changements très-considérables, pendant que d'autres n'en souffrent presque point dans le même intervalle de temps, ce qui nous ôte toute espérance de pouvoir jamais profiter de cette méthode, quelque excellente qu'elle soit en elle-même.

LETTRE XLI.

(20 octobre 1761.)

Pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction; pourquoi cette direction est différente en différents endroits, et par quelle raison elle change au même endroit avec le temps.

V. A. sera sans doute curieuse d'apprendre la raison pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction; pourquoi cette direction est différente en différents lieux, et pourquoi au même lieu elle change avec le temps? Sur ces questions importantes, j'aurai l'honneur de dire tout ce que j'en sais, quoiqu'il s'en

faille peut-être beaucoup que cela satisfasse la curiosité de V. A.

D'abord je remarque que les aiguilles aimantées ont cette propriété commune avec tous les aimants, et que ce n'est que leur figure, propre à balancer sur un pivot et y tourner librement, qui rend cette propriété plus marquée. Tout aimant étant suspendu par un fil se tourne toujours vers un certain côté; ou lorsqu'on le met dans un petit vaisseau, pour le faire nager sur l'eau, le vaisseau avec l'aimant affectera toujours une certaine direction. De même que dans les aiguilles qui ont deux bouts, dont l'un se dirige à peu près vers le nord et l'autre vers le sud, on remarque la même chose dans chaque aimant qui pareillement est pourvu de deux pareils points semblables, dont l'un affecte le nord et l'autre le sud, à peu près avec les mêmes variations que dans les aiguilles.

Ces points sont aussi très-sensibles dans chaque aimant, puisque c'est là où il attire le fer avec la plus grande force. On les nomme les *pôles* d'un aimant, en empruntant cette dénomination de celle des pôles de la terre ou du ciel, parce que l'un tâche de se diriger vers le pôle boréal, et l'autre vers le pôle austral ou méridional de la terre; ce qui ne doit s'entendre qu'à peu près, car lorsqu'on introduisit ces noms, la déclinaison n'était pas encore connue. L'un des deux pôles de l'aimant qui se dirige vers le nord est nommé le pôle boréal, et l'autre qui se dirige vers le sud, le pôle méridional ou austral de l'aimant.

J'ai déjà remarqué qu'une aiguille aimantée, aussi bien que l'aimant même, ne prend cette situation, qui lui paraît naturelle, que lorsqu'elle se trouve hors du voisinage de quelque autre aimant, ou du fer. Si une aiguille aimantée se trouve proche d'un aimant, elle se règle dans sa situationsur les pôles de cet aimant; en sorte que le pôle boréal de l'aimant attire le bout méridional de l'aiguille, et réciproquement le méridional de l'aimant, le bout boréal de l'aiguille: c'est pourquoi, en rapportant deux aimants ensemble, on nomme pôles amis ceux qui portent différents noms, et pôles ennemis, ceux du même nom. Cette propriété est très-remarquable lorsqu'on approche deux aimants l'un de l'autre; car alors on verra non-seulement que les pôles de différents noms s'attirent mutuellement, c'est-à-dire le boréal de l'un et le méridional de l'autre, mais aussi que les pôles du même nom se fuient et se repoussent l'un l'autre. On le voit encore plus distinctement lorsqu'on approche deux aiguilles aimantées l'une de l'autre.

Pour notre dessein, il sera fort important de bien considérer la situation qu'une aiguille aimantée prend dans le voisinage d'un aimant.

Dans la *fig.* 23, la barre AB représente un aimant dont le pôle boréal est en B, et le pôle méridional en A; V. A. voit plusieurs positions de l'aiguille aimantée, que je représente par la figure d'une flèche, dont le bout marqué *b* est le pôle boréal, et *a*, le pôle méridional. Dans toutes ces positions, le bout *b* de l'aiguille s'approche du pôle A de l'aimant, et le

bout *a* du pôle B. Le point *c* marque le pivot sur lequel l'aiguille tourne; et V. A. n'a qu'à bien considérer la figure, pour juger quelle situation prendra l'aiguille, en quelque lieu, autour de l'aimant, qu'on fixe le pivot *c*.

Donc, s'il y avait quelque part un très-grand aimant AB, les aiguilles aimantées posées autour de lui prendraient en chaque endroit une certaine situation, comme nous voyons que cela arrive actuellement autour de la terre; ou bien, si la terre elle-même était cet aimant, on comprendrait pourquoi les aiguilles aimantées se disposent partout selon une certaine direction. Aussi les physiciens, pour expliquer ce phénomène, soutiennent que toute la terre a la propriété d'un aimant, ou que nous la devons regarder comme un très-grand aimant. Quelques-uns d'entre eux prétendent qu'il se trouve vers le centre de la terre un très-grand aimant qui exerce sa force sur toutes les aiguilles aimantées, et même sur tous les aimants qui se trouvent sur la surface de la terre; et que c'est cette force qui les dirige en chaque lieu, selon les mêmes directions que nous y observons.

Mais nous n'avons pas besoin de recourir à un tel aimant caché dans les entrailles de la terre; sa surface même est tellement remplie partout de mines de fer et d'aimants, que leur force réunie peut bien suppléer au défaut de ce prétendu grand aimant. En effet, on tire tous les aimants des mines; ce qui est une marque bien certaine que ces minéraux se trouvent très-abondamment dans les entrailles de la terre.

et que toutes leurs forces réunies fournissent la force générale qui produit tous les phénomènes magnétiques. Par là, nous sommes aussi en état d'expliquer pourquoi, au même lieu, la déclinaison magnétique change avec le temps; car on sait que les mines de tous les métaux sont assujetties à des changements continuels, et en particulier celles de fer où il faut aussi rapporter les aimants : tantôt dans un endroit il s'engendre du fer, tantôt il s'y détruit de sorte qu'il y a aujourd'hui des mines de fer où il n'y en eut point autrefois; et là où l'on a trouvé autrefois de telles mines en abondance, on n'y trouve presque plus rien aujourd'hui. Cela prouve suffisamment que la masse totale de tous les aimants renfermés dans la terre souffre des changements très-considérables; d'où sans doute les pôles, sur lesquels se règle la déclinaison magnétique, changeront aussi avec le temps.

C'est ici donc qu'il faut chercher la cause pourquoi les déclinaisons magnétiques sont sujettes à des changements si considérables aux mêmes lieux de la terre. Mais cette même raison, fondée sur l'inconstance de ce qui se passe dans les entrailles de la terre, ne nous laisse aucune espérance de parvenir jamais à prédire d'avance la déclinaison magnétique, à moins qu'on ne trouve moyen de ramener les changements de la terre à quelque loi fixe. Une longue suite d'observations, continuée pendant plusieurs siècles, pourrait peut-être nous fournir des éclaircissements là-dessus (1).

(1) Il n'est plus permis d'expliquer le magnétisme terrestre

LETTRE XLII.

(24 octobre 1761.)

claircissements ultérieurs sur la cause et la variation de la déclinaison des aiguilles aimantées.

Ceux qui prétendent que la terre renferme dans on sein un grand aimant, comme un noyau, sont bligés de dire, pour expliquer la déclinaison manétique, que ce noyau change de situation successivement. Il faudrait alors que ce noyau fût détaché le la terre dans toutes ses parties; et comme sans loute son mouvement suivrait une certaine loi, nous ourrions espérer de découvrir un jour cette loi suiant laquelle la déclinaison change avec le temps. lais, soit qu'il y ait un tel noyau magnétique dans a terre, soit que les aimants dispersés dans son sein éunissent leurs forces pour produire les phénonènes magnétiques, on peut toujours regarder la erre même comme un aimant selon lequel se diigent tous les aimants particuliers et toutes les aiguilles aimantées.

ur l'existence des gîtes de fer magnétique. Selon toute appaence, des courants électriques, engendrés par les inégalités de empérature des couches superficielles du globe, sont la cause le tous les phénomènes du magnétisme terrestre, et de l'aimanation permanente de certains minerais que la terre renferme lans son sein.

Quelques physiciens ont renfermé dans un globe un aimant d'une très-grande force; et ayant placé sur la surface dudit globe une aiguille aimantée, ils y ont observé des phénomènes semblables à ceux qui ont lieu sur la terre, après avoir placé l'aimant dans le globe de plusieurs façons différentes. Or, en considérant la terre comme un aimant, elle aura ses pôles magnétiques, qu'il faut bien distinguer de ses pôles naturels autour desquels elle tourne; ces différents pôles n'ont rien de commun entre eux que le seul nom; mais c'est de la position des pôles magnétiques à l'égard des naturels que proviennent les irrégularités apparentes dans la déclinaison magnétique, et en particulier des lignes tracées sur la terre, dont j'ai eu l'honneur de rendre compte à V. A.

Pour mieux éclaircir cette matière, je remarque que si les pôles magnétiques tombaient précisément dans les pôles naturels, il n'y aurait point de déclinaison sur la terre; partout les aiguilles aimantées seraient précisément dirigées du nord vers le sud, et leur position serait précisément la même que celle de la ligne méridienne. Ce serait sans doute un très-grand avantage pour la navigation, puisqu'on connaîtrait alors exactement la route du vaisseau et la direction du vent; au lieu qu'à présent on doit toujours chercher la déclinaison de la boussole, avant que de pouvoir déterminer les vrais côtés du monde. Mais alors la boussole n'apporterait aussi aucun secours pour la détermination des longitudes, but auquel la déclinaison pourrait bien conduire un jour.

De là on peut conclure que si les pôles magné-
ques de la terre différaient de beaucoup des pôles
aturels, et qu'ils fussent directement opposés l'un
l'autre, ce qui arriverait si l'axe magnétique de la
erre (c'est la ligne droite tirée par les deux pôles
nagnétiques) passait par le centre de la terre, alors
es aiguilles aimantées se dirigeraient partout vers
es pôles magnétiques, et il serait bien aisé d'assi-
ner pour tous les lieux la direction magnétique :
n n'aurait qu'à tirer par chaque lieu un cercle qui
assât en même temps par les deux pôles magnéti-
ues, et l'angle que ferait ce cercle avec le méridien
u même lieu donnerait la déclinaison magnétique.

Dans ce cas, les deux lignes sous lesquelles la
léclinaison est nulle seraient des méridiens tirés
ar les pôles magnétiques. Donc, puisque nous
vons vu qu'actuellement ces deux lignes, où il n'y
a point de déclinaison, ne sont point des méridiens,
mais qu'elles ont un tour bien bizarre, on voit bien
que ce cas n'a point lieu sur la terre. Halley a bien
reconnu cette conséquence, et s'est cru obligé par
là de supposer un double aimant dans les entrailles
de la terre, dont l'un serait fixe et l'autre mobile;
en conséquence, il a établi quatre pôles sur la terre,
dont deux se trouvent près du pôle boréal, et les
deux autres près du pôle méridional, à inégales
distances. Mais cette conclusion me paraît un peu
hasardée : de ce que les lignes sans déclinaison ne
sont point des méridiens, il ne s'ensuit pas qu'il y
ait quatre pôles magnétiques sur la terre; mais plu-
tôt qu'il n'y en ait que deux, et que ces deux pôles

ne soient pas directement opposés l'un à l'autre, ou, ce qui revient au même, que l'axe magnétique ne passe point par le centre de la terre.

Il reste donc encore à considérer les cas où ces deux pôles magnétiques ne sont pas directement opposés, et où l'axe magnétique ne traverse pas la terre par son centre; car en effet, en embrassant l'hypothèse du noyau magnétique dans la terre, quelle nécessité y a-t-il que l'un des pôles magnétiques soit précisément à l'opposite de l'autre? Il se pourrait bien que ce noyau ne se trouvât point au milieu de la terre, mais qu'il fût à quelque distance du centre. Or, dès que les pôles magnétiques ne sont plus opposés diamétralement l'un à l'autre, les lignes sous lesquelles la déclinaison est nulle prennent effectivement un tour semblable à celui qu'on a conclu par les observations; il est même possible d'assigner aux deux pôles magnétiques de telles places sur la terre, que non-seulement ces lignes seraient d'accord avec les observations, mais aussi pour tous les degrés de déclinaison, tant occidentale qu'orientale, on trouve précisément des lignes semblables à celles qui nous ont d'abord paru si bizarres.

Donc, pour connaître l'état de la déclinaison magnétique, il ne s'agit que de fixer les deux pôles magnétiques ; et alors c'est un problème de géométrie, de déterminer la route de toutes ces lignes dont j'ai parlé dans ma lettre précédente, qui sont tirées par tous les lieux où la déclinaison est la même. C'est par ce moyen encore qu'on serait en état de rectifier ces lignes, et de remplir des contrées où les

observations nous manquent; et si l'on pouvait, pour tous les temps à venir, assigner les lieux des deux pôles magnétiques sur la terre, ce serait sans doute la plus belle solution du problème des longitudes.

On n'a donc point besoin d'un double aimant dans la terre, ou bien des quatre pôles magnétiques, pour expliquer les phénomènes de la déclinaison magnétique, comme le grand Halley l'a cru; mais un simple aimant ou deux pôles magnétiques sont parfaitement suffisants, pourvu qu'on assigne à chacun sa juste place. Il me semble que par cette réflexion nous sommes beaucoup plus avancés dans notre connaissance sur le magnétisme.

LETTRE XLIII.

(27 octobre 1761.)

Sur l'inclinaison des aiguilles aimantées.

Qu'il plaise à V. A. de se souvenir que lorsque nous frottâmes ou touchâmes une aiguille sur un aimant, elle en acquit non-seulemen la propriété de se diriger vers un certain point de l'horizon, mais que son bout boréal descendit aussi comme s'il fût devenu plus pesant; ce qui nous obligea d'en ôter quelque chose ou d'ajouter au bout opposé, pour remettre l'aiguille en équilibre. Or, ne faisant pas usage de ce moyen, j'ai fait plusieurs expérien-

ces pour m'assurer jusqu'où la force magnétique fait descendre le bout boréal de l'aiguille aimantée, et j'ai trouvé qu'il baissait jusqu'à faire un angle de 72 degrés avec l'horizon, et que dans cette situation l'aiguille restait en repos. Il est bon de remarquer que j'ai fait ces expériences ici à Berlin, il y a environ six ans; car je ferai voir dans la suite que cette situation sous l'horizon est aussi variable que la déclinaison magnétique.

Nous voyons par là que la force magnétique exerce un double effet sur les aiguilles : l'un est celui dont j'ai déjà fort amplement parlé, par lequel elle dirige l'aiguille vers un certain côté de l'horizon, dont l'éloignement de la ligne méridienne est ce qu'on nomme la déclinaison magnétique. Mais l'autre effet imprime à l'aiguille une inclinaison vers l'horizon, en faisant baisser l'un ou l'autre bout au-dessous de l'horizon, jusqu'à un certain angle.

Soit *de* (*fig.* 24) la ligne horizontale tirée selon la déclinaison magnétique, et l'aiguille prendra ici à Berlin la situation *ba*, qui fait avec l'horizon *de* l'angle *dcb* ou *eca*, qui est 72°, et par conséquent avec la verticale *fg*, un angle *bcg*, ou *acf*, de 18°. Ce second effet de la force magnétique, par lequel les aiguilles aimantées affectent une certaine inclinaison avec l'horizon, est aussi remarquable que le premier; et comme le premier est nommé la *déclinaison magnétique*, le second est connu sous le nom de l'*inclinaison magnétique*, qui mériterait, aussi bien que la déclinaison, d'être observée par-

tout avec tous les soins possibles, puisqu'on y trouve une aussi grande variété.

Comme l'inclinaison a été trouvée à Berlin de 72°, à Bâle on ne l'a observée que de 70°, le bout boréal de l'aiguille étant baissé, et l'autre par conséquent élevé de cet angle. Cela arrive dans nos contrées, qui sont plus proches du pôle magnétique boréal de la terre; et plus nous approchons de ce pôle, plus l'inclinaison de l'aiguille devient grande, ou s'approche davantage de la ligne verticale; de sorte que si nous pouvions arriver à ce pôle même, l'aiguille y prendrait effectivement la situation verticale, son bout boréal étant tourné en bas et le méridional en haut. Au contraire, plus on s'éloigne du pôle boréal magnétique de la terre, et qu'on s'approche du méridional, plus l'inclinaison devient petite; elle disparaîtra enfin, et l'aiguille prendra une situation horizontale, quand on se trouvera à des distances égales des deux pôles. Or, ensuite, s'approchant davantage du pôle méridional de la terre, ce sera alors le bout méridional de l'aiguille qui s'enfoncera de plus en plus sous l'horizon, le bout boréal s'élevant au-dessus, jusqu'à ce que, dans ce pôle même, l'aiguille deviendra derechef verticale, tournant son bout méridional en bas et le boréal en haut.

Il serait bien à souhaiter qu'on fît partout des expériences aussi soigneuses pour déterminer l'inclinaison magnétique, que celles qu'on fait pour la déclinaison; mais jusqu'ici on a trop négligé cet important article de la physique expérimentale, qui

n'est pas certainement moins curieux ni moins intéressant que celui de la déclinaison. Mais il n'en faut pas être surpris : cette espèce d'expérience est sujette à trop de difficultés, et presque toutes les manières qu'on a imaginées jusqu'ici pour observer l'inclinaison magnétique ont manqué de succès; il n'y eut qu'un artiste de Bâle, nommé Diterich, qui y a réussi, ayant construit une machine propre à ce dessein, suivant les vues du célèbre M. Daniel Bernoulli. Il m'avait envoyé deux de ces machines, par le moyen desquelles j'ai observé ici cette inclinaison de 72°; et, quelque curieux que soient d'ailleurs les Anglais et les Français sur ces sortes de découvertes, ils ne firent pas grand cas de la machine de M. Diterich, quoiqu'elle soit la seule propre à ce dessein. C'est un grand exemple qui nous fait voir combien les préjugés sont capables d'arrêter les progrès des sciences. Par cette raison on peut soutenir que Bâle et Berlin sont encore les seuls endroits sur la terre où l'on connaît l'inclinaison magnétique.

Les aiguilles faites pour les boussoles ne sont pas absolument propres à nous montrer la quantité de l'inclinaison magnétique, quoiqu'elles en indiquent grossièrement l'effet, parce que le bout boréal devient dans nos contrées plus pesant : pour faire usage de ces aiguilles destinées à nous découvrir la déclinaison, nous sommes plutôt obligés de détruire l'effet de l'inclinaison, en rendant ou plus léger le bout boréal, ou plus pesant le bout méridional. Pour amener l'aiguille dans la situation

horizontale, on se sert ordinairement du dernier remède, et on attache un peu de cire au bout méridional de l'aiguille. Mais V. A. comprend aisément que ce remède n'a lieu qu'ici, où la force inclinatoire est d'une certaine grandeur, et que si nous voyageons avec une telle aiguille vers le pôle boréal magnétique de la terre, la force inclinatoire deviendra aussi plus grande; de sorte que, pour en empêcher l'effet, il faudra ajouter encore de la cire sur le bout méridional. Mais si nous voyageons vers le midi, et que nous approchions de l'autre pôle de la terre, où la force inclinatoire sur le bout boréal de l'aiguille devient plus petite, il faut alors diminuer la cire attachée à l'autre bout; ensuite l'ôter tout à fait, parce qu'elle est inutile si l'on parvient à des endroits où l'inclinaison magnétique s'évanouit. Or, passant ce terme, et approchant davantage du pôle méridional, le bout méridional de l'aiguille est poussé en bas, de manière que, pour prévenir cet effet, il faut attacher de la cire au bout boréal de l'aiguille. C'est aussi effectivement de ce moyen qu'on se sert dans les grands voyages, pour maintenir la boussole dans une situation horizontale.

Or, pour observer l'inclinaison magnétique, il faudrait avoir des instruments faits exprès, et même semblables à celui que l'artiste de Bâle a inventé; on nomme un tel instrument un *inclinatoire*, mais il n'y a pas apparence qu'on en fasse sitôt usage (1).

(1) Ce qu'Euler nomme *inclinatoire* s'appelle maintenant *bous-*

Encore moins pouvons-nous espérer qu'on fasse bientôt des cartes sur l'inclinaison magnétique, semblables à celles où l'on nous a représenté la déclinaison : on y pourrait bien suivre la même méthode, et tirer des lignes par tous les lieux où l'inclinaison magnétique sera la même ; de sorte qu'on y aurait des lignes sans inclinaison, ensuite d'autres lignes où l'inclinaison est de 5°, 10°, 15°, 20°, etc., tant vers le nord que vers le sud.

LETTRE XLIV.

(31 octobre 1761.)

Sur la véritable direction magnétique, et sur la matière subtile qui produit la force magnétique.

Pour se former une juste idée de l'effet de la force magnétique de la terre, il faut avoir égard tant à la déclinaison qu'à l'inclinaison des aiguilles aimantées dans chaque lieu de la terre : nous savons qu'à Berlin la déclinaison est de 15° vers l'occident, et que l'inclinaison au bout boréal est de 72°. En

sole d'inclinaison. Depuis nombre d'années, les physiciens multiplient sans relâche non-seulement les observations de déclinaison, mais encore celles d'inclinaison ; et, ce qui n'est pas moins important pour la théorie, ils mesurent, avec autant de précision qu'ils le peuvent, les variations d'*intensité* de la force magnétique, en divers points de la surface terrestre et à différentes époques. *Voyez* la carte des lignes d'égale intensité magnétique, dressée par M. le capitaine Duperrey.

nsidérant ce double effet, la déclinaison et l'innaison, on aura la véritable direction magnétie : ainsi, pour savoir la véritable direction maétique pour Berlin; on tirera d'abord sur un plan rizontal une ligne qui fasse avec la méridienne angle de 15° vers l'occident; et de là, en desndant vers la ligne verticale, on tracera une noulle ligne qui fasse un angle de 72° avec celle-là; celle-ci nous montrera la direction magnétique ur Berlin : d'où V. A. comprend comment on deait assigner pour tout autre endroit la direction agnétique, pourvu qu'on y connût tant l'inclinain que la déclinaison.

Or, chaque aimant nous découvre des phénomès tout à fait semblables : on n'a qu'à le mettre r une table couverte de limaille de fer, et l'on rra que la limaille se disposera autour de l'aiant BA, à peu près comme la *fig.* 25 le reprénte, où chaque parcelle de limaille peut être rerdée comme une petite aiguille aimantée qui nous it voir en chaque point, autour de l'aimant, la rection magnétique. Cette expérience nous conit à chercher la cause de tous ces phénomènes agnétiques (1).

(1) Euler va faire, à l'occasion des aimants, du pur cartéisme; et la théorie qu'il donne doit être considérée comme solument sans valeur dans l'état de la science. On ne peut us douter aujourd'hui que tous les phénomènes du magnéme ne soient dus à un mode particulier d'action des courants ectriques; et l'ingénieuse théorie d'Ampère sur le mode de stribution et d'action des courants (théorie qui fait le plus

L'arrangement que nous observons dans la limaille de fer ne nous laisse pas douter que ce ne soit une matière subtile et invisible qui enfile les parcelles de la limaille, et les dispose dans la direction que nous voyons. Outre cela, il est également clair que cette matière subtile traverse l'aimant même, en y entrant par l'un de ses pôles, et sortant par l'autre; de sorte qu'elle forme, par son mouvement continuel autour de l'aimant, un tourbillon qui reconduit la matière subtile d'un pôle à l'autre; et il n'y a aucun doute que ce mouvement ne soit extrêmement rapide.

C'est donc dans un tourbillon continuel que consiste la nature des aimants, ce qui les distingue de tous les autres corps; et la terre elle-même, en qualité d'aimant, sera entourée d'un tel tourbillon qui agit partout sur les aiguilles aimantées, et fait des efforts pour les disposer suivant sa propre direction, qui est la même que j'ai nommée auparavant la direction magnétique. Cette matière subtile sort donc continuellement par l'un des pôles magnétiques de la terre, et, après en avoir fait le tour jusqu'à l'autre pôle, elle y rentre et la traverse dans

beau titre de gloire de ce savant célèbre) satisfait assez bien à tous les phénomènes observés jusqu'ici, pour qu'elle puisse être acceptée provisoirement. Mais comme il n'est nullement question dans les lettres d'Euler de l'*électrodynamique*, qui est une branche toute nouvelle de la physique, et des plus étendues, nous nous abstiendrons d'entrer à ce sujet dans des explications qui dépasseraient de beaucoup le cadre d'une note.

toute son épaisseur, jusqu'à ce qu'elle s'échappe de nouveau par le premier pôle.

Or, on ne saurait encore décider par lequel des deux pôles magnétiques de la terre elle entre ou sort : les phénomènes qui en dépendent se ressemblent si parfaitement, qu'on ne les saurait distinguer. C'est aussi sans doute ce tourbillon général de la terre qui fournit la matière subtile à tous les aimants partiaux, et au fer ou acier aimanté, et qui entretient les tourbillons particuliers qui les environnent.

Pour approfondir la nature de cette matière subtile et son mouvement, il faut d'abord remarquer qu'elle n'agit que sur les aimants, le fer et l'acier; tous les autres corps lui sont absolument indifférents : il faut donc qu'elle se trouve dans une tout autre relation à l'égard des aimants et du fer, que de tous les autres corps. Plusieurs expériences nous obligent de soutenir que cette matière subtile traverse librement tous les autres corps, et même en tout sens; car quand un aimant agit sur une aiguille, l'action est parfaitement la même, soit qu'on mette quelques corps entre eux, ou qu'on n'y en mette pas, pourvu que ce ne soit point du fer; et c'est aussi de la même manière qu'un aimant exerce son action sur la limaille de fer. Il faut donc bien que cette matière subtile traverse tous les corps, hormis le fer, aussi librement que l'air, et même le pur éther, puisque ces expériences réussissent également dans un espace vidé d'air par la machine pneumatique. Cette matière subtile est par consé-

quent aussi différente de l'éther, et même beaucoup plus subtile. Ensuite, à cause du tourbillon général de la terre, on peut dire qu'elle environne toute la terre et qu'elle en traverse librement toute la masse, tout comme les autres corps, à l'exception du fer et des aimants; et c'est pour cette raison qu'on pourrait nommer le fer et l'acier des corps magnétiques, pour les distinguer de tous les autres corps.

Mais si la matière magnétique passe librement à travers de tout corps non magnétique, quel rapport aura-t-elle avec les corps magnétiques? Nous venons de voir que le tourbillon magnétique entre par l'un des pôles de chaque aimant, et sort par l'autre, d'où l'on pourrait conclure qu'il traverse aussi librement les aimants; ce qui ne le distinguerait pas des autres. Mais quand la matière magnétique ne traverse les aimants que d'un pôle à l'autre, c'est une circonstance bien différente de celle qui a lieu dans les autres. Voilà donc le caractère distinctif. Pour les corps non magnétiques, ils sont traversés librement par la matière magnétique et en tout sens; pour les aimants, ils n'en sont traversés que dans un seul sens, l'un des pôles étant destiné à l'entrée et l'autre à la sortie. Pour le fer et l'acier, quand ces corps sont aimantés, ils sont aussi traversés par la matière magnétique, seulement dans un seul sens, selon la nature des pôles magnétiques; mais quand ces corps ne sont pas encore aimantés, on peut dire qu'ils n'accordent point un passage libre à la matière magnétique dans aucun sens.

Cela paraîtra étrange, puisque le fer a des pores

ouverts qui transmettent l'éther même, qui n'est pas pourtant si subtil que la matière magnétique. Mais il faut bien distinguer un simple passage, d'un autre où la matière magnétique puisse traverser le corps avec toute sa rapidité, sans rencontrer aucun obstacle.

LETTRE XLV.

(3 novembre 1761.)

Continuation sur la nature de cette matière magnétique et de son courant rapide. Des canaux magnétiques.

Il s'en faut beaucoup que je prétende parfaitement expliquer les phénomènes du magnétisme; j'y trouve des difficultés que je n'ai pas rencontrées dans les phénomènes de l'électricité. La cause en est sans doute que l'électricité consiste dans un trop grand ou trop petit degré de compression d'un fluide subtil qui occupe les pores des corps, sans que ce fluide subtil, qui est l'éther, se trouve dans un mouvement actuel; mais le magnétisme ne saurait être expliqué, à moins qu'on ne suppose un tourbillon rapidement agité qui pénètre les corps magnétiques.

La matière qui constitue ces tourbillons est aussi beaucoup plus subtile que l'éther, et traverse librement les pores des aimants, qui sont impénétrables à l'éther même. Or, cette matière magnétique est répandue et mêlée dans l'éther, tout de même que l'éther est mêlé avec l'air grossier; ou, comme l'éther

occupe et remplit les pores de l'air, on peut dire que la matière magnétique est renfermée dans les pores mêmes de l'éther.

Maintenant je conçois que l'aimant et le fer ont des pores si petits, que l'éther tout entier ne saurait entrer, et qu'il n'y a que la matière magnétique qui les puisse pénétrer, et qui, en y entrant, se sépare de l'éther, de sorte qu'il s'y fait pour ainsi dire une filtration. Ce n'est donc que dans les pores de l'aimant que la matière magnétique se trouve toute pure; partout ailleurs elle est mêlée et dispersée par l'éther, tout comme l'éther lui-même est dispersé par la masse de l'air.

V. A. imaginera aisément plusieurs semblables fluides, dont l'un est toujours plus subtil que l'autre, et qui sont parfaitement mêlés ensemble. La nature nous en offre des exemples nullement équivoques. Nous savons que l'eau renferme dans ses pores des particules d'air que nous y voyons souvent monter en forme de petites bulles; ensuite il n'y a plus de doute que l'air ne renferme dans ses pores un fluide incomparablement plus subtil, qui est l'éther, et qui s'en sépare même en plusieurs occasions, comme nous avons vu dans l'électricité. A présent nous voyons que cette progression va plus loin, et que l'éther contient encore une matière beaucoup plus subtile, qui est la matière magnétique; peut-être celle-ci en renferme-t-elle encore d'autres plus subtiles : du moins cela ne serait pas impossible.

Après avoir établi cette matière magnétique, voyons de quelle manière elle produit les phéno-

mènes magnétiques. Pour cet effet, je considère d'abord un aimant, et je dis, premièrement, qu'outre une très-grande quantité de pores remplis d'éther, comme tous les autres corps, l'aimant contient encore des pores beaucoup plus étroits, où la seule matière magnétique peut entrer. En second lieu, que ces pores sont disposés de manière à avoir une communication entre eux, et constituent des tuyaux ou canaux par lesquels la matière magnétique passe d'un bout à l'autre. En troisième lieu, que la matière magnétique ne saurait passer par ces tuyaux que dans un sens, sans pouvoir retourner dans le sens contraire : cette circonstance, qui est très-essentielle, demande un plus grand éclaircissement.

Je remarque donc d'abord que les veines et les vaisseaux lymphatiques, dans les corps des animaux, sont des tuyaux d'une construction semblable. Il y a dans les veines de certaines soupapes, représentées (*fig.* 26) par les traits *mn*, dont la fonction est que, tant que le sang coule de A vers B, ces soupapes se lèvent, et lui accordent un libre passage; mais elles empêchent en même temps le sang de refluer de B vers A.

Car, si le sang voulait couler de B vers A, il pousserait le bout libre de la soupape *n* vers le côté *o* de la veine, et la soupape fermerait le passage entièrement : on se sert de semblables soupapes dans les conduits d'eau, pour empêcher que l'eau ne puisse retourner. Par cette raison, je crois ne supposer rien qui soit contraire à la nature, quand je dis que les canaux, dans les aimants qui n'admettent que

la matière magnétique, sont d'une semblable construction.

La *fig.* 27 représente un tel canal magnétique, comme je me l'imagine. Je le conçois velu en dedans, de sorte que les poils sont dirigés de A vers B, et qu'ils n'opposent aucun obstacle à la matière magnétique quand elle passe de A vers B, puisqu'alors ces poils s'ouvrent d'eux-mêmes en *n*, pour laisser passer la matière en *o;* mais ces mêmes poils ferment d'abord le passage, si la matière magnétique voulait rétrograder de B vers A. Voilà donc en quoi consiste la nature des canaux magnétiques: c'est qu'ils ne permettent l'entrée à la matière magnétique qu'au bout A, pour y couler vers B sans aucun empêchement; mais il serait impossible qu'elle les traversât en sens contraire de B vers A.

Cette construction nous met en état d'expliquer comment la matière magnétique entre dans ces tuyaux, et comment elle les traverse avec la plus grande rapidité, lors même que l'éther tout entier est dans un repos parfait, ce qui est d'autant plus surprenant : car, par où un tel mouvement si rapide peut-il être produit? La chose deviendra très-claire, si V. A. veut bien se souvenir que l'éther est une matière extrêmement élastique; donc, la matière magnétique qui est dispersée en sera de toutes parts pressée. Cela posé, soit le canal magnétique AB encore tout à fait vide, et qu'à l'entrée A il se trouve une molécule de la matière magnétique *m*, laquelle étant pressée de toutes parts, excepté là où elle touche le canal (puisque l'éther ne saurait entrer dans

le canal), elle sera poussée avec la plus grande force vers le canal, et ainsi elle y entrera actuellement avec la plus grande rapidité; bientôt une autre molécule de la matière magnétique dont l'éther est copieusement chargé se présentera à l'entrée du canal, et y sera poussée avec la même force, et ainsi des molécules suivantes; de sorte qu'il en résultera un flux continuel de matière magnétique par un tel canal; et puisque ce flux ne rencontre aucun obstacle dans le tuyau, la matière magnétique sortira en B avec la même rapidité dont elle est entrée en A.

Je conçois donc que tout aimant contient une grande multitude de tels canaux, que je nomme magnétiques; et de là il s'ensuit très-naturellement que la matière magnétique dispersée par l'éther y doit entrer par un bout, et sortir par l'autre avec une grande impétuosité; ou bien nous aurons un courant perpétuel de matière magnétique, par les canaux de l'aimant. Par là j'espère avoir surmonté les plus grands obstacles qu'on rencontre dans la théorie du magnétisme.

LETTRE XLVI.

(7 novembre 1761.)

Du tourbillon magnétique, et sur l'action des aimants l'un sur l'autre.

V. A. vient de voir en quoi consiste le caractère distinctif des aimants, savoir, qu'un aimant est

pourvu de plusieurs canaux, tels que je viens d'en donner la description.

La *fig.* 28 (*pl.* II) représente un aimant AB avec trois canaux magnétiques *ab*, par lesquels la matière magnétique coulera avec la plus grande rapidité, en y entrant par les bouts *a*, et sortant par les bouts *b* : elle en sortira bien avec la même rapidité; mais, rencontrant d'abord de l'éther mêlé dans l'air grossier, elle y trouvera de très-grands obstacles qui s'opposent à la continuation de son mouvement selon sa direction, et en conséquence son mouvement sera non-seulement ralenti, mais sa direction sera aussi détournée vers les côtés *cc*. La même chose arrivera à l'entrée, vers les bouts *aaa*, ou à cause de la rapidité dont les molécules de la matière magnétique entrent dans ces bouts; le tour viendra bientôt à celles qui sont encore plus vers les côtés *ee*, et qui seront à leur tour remplacées par celles qui, étant sorties des bouts *bbb*, ont déjà été détournées vers *cc*, en sorte que bientôt la même matière magnétique qui est sortie par les bouts *bbb* retourne vers les bouts *aaa* en faisant le tour *bcdea;* et ce mouvement, qui se fera tout autour de l'aimant, est ce que nous nommons *tourbillon magnétique*.

Cependant, il ne faut pas s'imaginer que c'est toujours la même matière magnétique qui forme ces tourbillons; une bonne partie s'en échappera sans doute, tant vers B que vers les côtés, en faisant le tour; mais, en récompense, il entrera par les bouts *aaa* de la nouvelle matière magnétique; de sorte

que la matière qui constitue le tourbillon est compensée et bien variable : cependant il se conservera toujours un tourbillon magnétique dont l'aimant sera entouré, et qui produit les phénomènes observés ci-dessus dans la limaille de fer qu'on jette autour de l'aimant.

Que V. A. fasse attention à cette circonstance, que le mouvement de la matière magnétique dans le tourbillon hors de l'aimant est incomparablement plus lent que dans les tuyaux magnétiques, où elle est séparée de l'éther, y ayant été poussée par toute la force élastique de l'éther; et que, dès qu'elle sort, elle se mêle de nouveau avec l'éther, et y doit perdre la plus grande partie de son mouvement; de sorte que la vitesse dont elle fait le tour de l'aimant pour rentrer par les bouts *aaa* est incomparablement plus petite que dans les canaux magnétiques *ab*, quoiqu'elle soit encore très-grande à notre égard. Maintenant V. A. comprendra aisément que les bouts des canaux magnétiques par lesquels la matière entre dans l'aimant, et par lesquels elle en sort, sont ce que nous nommons les pôles magnétiques d'un aimant ; d'où je dois remarquer que les pôles magnétiques d'un aimant ne sont rien moins que des points mathématiques, toute la place où les uns et les autres bouts des canaux magnétiques aboutissent étant un pôle magnétique, comme dans l'aimant représenté au commencement, où toute la face A et la face B en sont les deux pôles.

Or, comme ces pôles sont distingués en boréal et

en méridional, on ne saurait dire si c'est par le pôle boréal ou méridional que la matière magnétique entre dans les aimants. V. A. verra dans la suite que tout phénomène qui est produit tant par l'entrée que par la sortie se ressemble si parfaitement, qu'il paraît absolument impossible de décider cette question par les expériences. Par cette raison, il sera indifférent de supposer que la matière magnétique entre par le pôle boréal et sort par le méridional, ou bien qu'elle entre par le méridional et sort par le boréal, peu importe.

Mais, quoi qu'il en soit, je marquerai par la lettre A le pôle où la matière magnétique entre, et B l'autre pôle où elle sort, sans me soucier lequel est boréal ou méridional. Maintenant, nous n'avons qu'à réfléchir sur ces tourbillons pour juger comment deux aimants agissent l'un sur l'autre.

Supposons que deux aimants AB et *ab* (*fig.* 29) se regardent par les pôles du même nom A, *a*, et leurs tourbillons seront tout à fait contraires entre eux. La matière magnétique en C entrera en partie par A, en partie par *a;* et ces deux tourbillons tâchant de se détruire l'un l'autre, la matière qui avance par E pour rentrer en A rencontre en D celle de l'autre aimant, qui revient par *e* pour rentrer en *a;* de là il doit naître un choc entre ces deux tourbillons, par lequel l'un repousse l'autre; et cet effet rejaillit sur les aimants mêmes, qui dans cette situation se repoussent l'un l'autre. La même chose arriverait si les deux aimants se regardaient par les autres pôles B et *b;* c'est pourquoi on nomme les

s du même nom ennemis, puisqu'ils se repous- mutuellement.

ais si les aimants se regardent par les pôles de rents noms, il s'ensuivra un effet contraire, et L. verra aisément qu'ils se doivent attirer l'un re.

ans la *fig.* 30, où les deux aimants se regardent les pôles B et *a*, la matière magnétique qui sort le pôle B, trouvant d'abord la commodité d'en- dans l'autre aimant par son pôle *a*, ne se dé- nera point vers les côtés pour rentrer en A; mais passera directement par C dans l'autre aimant, elle sortira en *b;* de là elle fera le tour par les s *dd*, pour retourner non pas au pôle *a*, mais pôle A de l'autre aimant, en faisant le tour par *e* Ainsi les tourbillons de ces deux aimants se niront dans un seul, comme s'il n'y avait qu'un aimant. Or, ce seul tourbillon étant de toutes s comprimé par l'éther, poussera les deux ai- nts l'un vers l'autre, et il semblera que les deux ants s'attirent mutuellement.

oilà donc la raison pourquoi les pôles de diffé- ts noms sont nommés amis, et les pôles du même n ennemis; et V. A. comprend le phénomène ncipal des aimants, qui est que les pôles de érents noms ttirent, et que ceux du même n se repoussent.

LETTRE XLVII.

(10 novembre 1761.)

Sur la nature du fer et de l'acier, et de quelle manière ils peuvent recevoir la force magnétique.

Ayant établi la nature de l'aimant dans ces canaux que la matière magnétique peut traverser dans un sens seulement, les soupapes dont ces canaux sont parsemés, empêchant le retour en sens contraire, V. A. comprendra aisément que ces canaux ne sont qu'une continuation de certains pores de cette figure $\begin{smallmatrix} m< \\ m< \end{smallmatrix} n$ velus en dedans, dont les poils *mn* sont dirigés en même sens; de sorte que plusieurs semblables particules étant jointes ensemble et dirigées en même sens, constituent un canal magnétique. Donc il ne suffit pas que la matière de l'aimant renferme plusieurs particules semblables, il faut outre cela qu'elles soient disposées en sorte qu'il en résulte des canaux continués d'un bout à l'autre, afin que la matière magnétique les puisse traverser.

Or, je conçois à présent que tant le fer que l'acier contiennent de semblables particules en grande abondance, mais qui ne sont pas disposées de la façon que je viens de décrire : elles sont plutôt dispersées par toute la masse, et il n'y manque que cette disposition pour que ces corps soient aussi de vrais aimants. Ils conservent bien alors toutes leurs autres

qualités, et ne se distinguent des autres morceaux de fer et d'acier que parce qu'ils sont en outre doués des propriétés de l'aimant; une aiguille et un couteau rendent les mêmes services, soit qu'ils aient acquis la vertu magnétique ou non. Le changement qui se fait dans l'intérieur, en rangeant les particules dans l'ordre que le magnétisme exige, ne saurait être remarqué par dehors: or, un tel fer ou acier qui a acquis la force magnétique est nommé un aimant artificiel, pour le distinguer de l'aimant naturel, qui ressemble à une pierre, quoique les propriétés magnétiques soient les mêmes dans les uns et les autres. V. A. sera sans doute curieuse d'apprendre de quelle manière le fer et l'acier peuvent être portés à recevoir la force magnétique, ou devenir des aimants artificiels. La chose est fort aisée, et le seul voisinage d'un aimant est capable de rendre le fer un peu magnétique; c'est le tourbillon magnétique qui produit cet effet, sans que le fer touche l'aimant.

Quelque dur que nous paraisse le fer, les moindres particules qui renferment les pores magnétiques représentés ci-dessus sont très-mobiles dans la substance du fer, et la moindre force suffit pour changer leur situation. Donc, la matière magnétique du tourbillon, en entrant dans le fer, disposera aisément les premiers pores magnétiques qu'elle y rencontre suivant sa direction, au moins ceux dont la situation n'est pas fort différente; et ayant passé ces pores, elle agira de la même manière sur les pores suivants, jusqu'à ce qu'elle se sera pratiqué un passage au travers du fer, et formé par là quelques ca-

naux magnétiques. Or, la figure du fer contribue aussi beaucoup à faciliter ce changement; une figure allongée, et placée selon la direction du tourbillon, y est la plus propre, puisque la matière magnétique, en passant par toute la longueur, y dispose beaucoup de particules dans leur juste situation, pour former des canaux magnétiques plus longs; et il n'y a aucun doute que plus il y aura pour former des canaux, et que plus ces canaux seront longs sans aucune interruption, plus sera fort le mouvement de la matière magnétique, d'où par conséquent aussi la force magnétique deviendra plus grande.

On a aussi remarqué que lorsqu'on secoue fortement ou frappe le fer posé dans un tourbillon magnétique, il en acquiert un plus haut degré de magnétisme, parce que les moindres particules sont ébranlées par ces secousses, et par là déliées, pour se prêter plus facilement à l'action de la matière magnétique qui les pénètre.

Ainsi, posant une petite barre de fer *ab* (*fig.* 31) dans le tourbillon de l'aimant AB, en sorte que sa direction *ab* convienne à peu près avec celle du courant *def* de la matière magnétique, elle traversera aisément la barre et y formera des canaux magnétiques, surtout quand on secoue ou frappe cette barre en même temps, pour faciliter le passage. On voit aussi que la matière magnétique qui entre par le pôle A, et sort par le pôle B de l'aimant, entrera dans la barre par le bout *a*, et sortira par le bout *b*; de sorte que le bout *a* deviendra le pôle du même nom A, et *b* de celui B. Ensuite, ôtant cette

barre *ab* du tourbillon magnétique, elle sera un aimant artificiel, quoique bien faible, qui formera son propre tourbillon, et conservera sa force, tant que les canaux magnétiques n'y seront point interrompus. Or, cela arrivera d'autant plus aisément que les pores dans le fer sont mobiles; d'où l'on voit que la même circonstance qui aide à produire le magnétisme sert aussi à le détruire. Un aimant naturel n'est pas tant assujetti à un tel affaiblissement, puisque ses pores tiennent beaucoup plus fermes, et il faut des efforts plus considérables pour les déranger. J'en parlerai plus en détail dans la suite.

Ici je me propose d'expliquer la manière la plus naturelle pour rendre le fer magnétique, quoique la force qu'il en acquiert soit très-petite; cela nous servira à comprendre un phénomène très-remarquable et assez universel. On a observé que les pincettes de cheminée, et d'autres outils de fer qu'on tient ordinairement dans une situation verticale, de même que les barres de fer qu'on met sur les clochers, acquièrent avec le temps une force magnétique assez sensible; aussi s'est-on aperçu qu'une barre de fer étant battue dans une situation verticale, ou après l'avoir fait rougir au feu étant trempée dans l'eau froide dans la même situation, devient un peu magnétique sans l'approche d'aucun aimant.

Pour comprendre la raison de ce phénomène, V. A. n'a qu'à se souvenir que la terre elle-même est un aimant, et conséquemment entourée d'un tourbillon magnétique, dont la déclinaison et l'inclinaison de l'aiguille aimantée montre en chaque

lieu de la terre la véritable direction; donc, si une barre de fer se trouve longtemps dans cette situation, nous n'avons pas lieu d'être surpris quand elle devient magnétique. Or, nous avons vu aussi qu'ici à Berlin l'inclinaison de l'aiguille aimantée est de 72 degrés; et comme presque partout en Europe elle est environ de la même grandeur, cette inclinaison ne diffère que de 18° de la situation verticale; et ainsi la situation verticale ne diffère pas beaucoup de la direction du tourbillon magnétique. Donc, une barre de fer qu'on a tenue longtemps dans la situation verticale sera enfin pénétrée par le tourbillon magnétique, et doit acquérir par conséquent une force magnétique.

En d'autres contrées, où l'inclinaison est insensible, ce qui arrive à peu près sous l'équateur, ce n'est plus la direction verticale qui rend les barres de fer magnétiques; il les faut plutôt poser horizontalement, en sorte que leur direction convienne avec la déclinaison magnétique, si l'on veut qu'elles acquièrent une force magnétique. Je ne parle ici que du fer; l'acier est trop dur pour ce dessein; il faut employer des moyens plus efficaces pour le rendre magnétique.

LETTRE XLVIII.

(14 novembre 1761.)

Sur l'action des aimants dans le fer, et des phénomènes qu'on observe lorsqu'on met des pièces de fer dans le voisinage d'un aimant.

Quoique la terre tout entière puisse être considérée comme un grand aimant, et qu'elle soit environnée d'un tourbillon magnétique qui dirige partout les aiguilles aimantées, sa force magnétique est pourtant très-faible, et beaucoup plus petite que celle d'un aimant très-médiocre; ce qui paraît très-étrange à cause de l'énorme grandeur de la terre.

Mais la raison en est sans doute que nous sommes très-éloignés des véritables pôles magnétiques de la terre, qui, selon toute apparence, sont ensevelis à une très-grande profondeur: or, quelque fort que soit un aimant, ce n'est que fort près de lui que sa force est considérable; et plus on s'en éloigne, plus elle devient petite et s'évanouit bientôt. Par cette raison, la force magnétique que des masses de fer posées convenablement dans le tourbillon de la terre acquièrent avec le temps n'est que très-petite et à peine sensible, à moins que le fer ne soit très-mou, qu'il n'ait une figure propre à produire un tourbillon, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A.

Dans le voisinage d'un aimant médiocre, cet effet

est beaucoup plus considérable, et de petites masses de fer y acquièrent bientôt une force magnétique très-sensible; aussi sont-elles attirées vers l'aimant, tandis que dans le tourbillon de la terre cet effet est imperceptible, et ne consiste qu'à diriger les aiguilles aimantées, sans les attirer ou augmenter leur poids.

Une masse de fer plongée dans le tourbillon d'un aimant nous offre aussi des phénomènes très-curieux, qui méritent bien une explication particulière : d'abord une telle masse est non-seulement attirée vers l'aimant, mais elle attire aussi elle-même d'autres morceaux de fer. Soit AB (*fig.* 32) un aimant naturel, dans le voisinage duquel, près du pôle B, on place la masse de fer CD, et on verra qu'elle est capable de soutenir une barre de fer EF. Qu'on applique à cette barre en F encore une règle de fer GH, dans une situation quelconque, par exemple horizontale, en la soutenant en H, et l'on s'apercevra qu'elle n'est pas seulement attirée par la barre en F, mais qu'elle est aussi capable de supporter en H encore des aiguilles comme IK, et que ces aiguilles agissent de plus sur de la limaille de fer L, en l'attirant.

De telle manière, on peut propager la force magnétique à des distances très-considérables, et même la faire changer de direction par la diverse position de ces pièces de fer, quoiqu'elle devienne de plus en plus petite. V. A. comprendra aussi aisément que cet effet doit être d'autant plus grand, plus l'aimant AB est fort par lui-même, et que la première

asse CD en est plus proche. Feu M. de Maupertuis ait un gros aimant si excellent, qu'à une distance : plusieurs pieds la masse de fer CD exerçait enre une force très-considérable.

Pour expliquer ces phénomènes, V. A. n'a qu'à nsidérer que la matière magnétique qui sort radement par le pôle B de l'aimant entre dans la asse de fer, et y dispose les pores de façon à former s canaux magnétiques, qu'elle traverse ensuite liement. De la même manière, en entrant dans la rre, elle se formera des canaux magnétiques, et nsi de suite. Or, dès que la matière magnétique, sortant d'un corps, entre dans un autre, ces deux rps doivent s'attirer mutuellement, par la même ison que j'ai prouvé que deux aimants qui se rerdent par leurs pôles amis doivent s'attirer; et, utes les fois que nous voyons que deux fers s'attint, nous pouvons conclure sûrement que la maère magnétique qui sort de l'un entre dans l'autre, r le mouvement continuel dont elle enfile ces rps. C'est ainsi que, dans la disposition représentée s pièces de fer, la matière magnétique enfile, par n mouvement, toutes ces pièces; et c'est la véritale raison de ce qu'elles s'attirent mutuellement.

Ces mêmes phénomènes arrivent également sans ucune différence, lorsqu'on tourne l'autre pôle A e l'aimant, où la matière magnétique entre vers la asse de fer : alors tout le mouvement devient rétroade et conserve la même route, car alors la maère magnétique contenue dans la masse de fer s'en chappera pour se précipiter dans l'aimant; et en

s'échappant elle fera les mêmes efforts pour y ranger les pores convenablement, de même que si elle entrait dans le fer avec la même rapidité. Pour cet effet, il faut bien que le fer soit assez mou et ses pores aisément flexibles, pour obéir aux efforts de la matière magnétique. La seule difficulté que V. A. rencontrera ici sera sans doute pourquoi la matière magnétique, en entrant dans une autre pièce de fer, change de direction et se règle selon la longueur de ces pièces, comme j'ai représenté son cours dans la figure. C'est un article fort important dans la théorie du magnétisme, et qui nous fait voir combien la figure des pièces de fer contribue à la production des phénomènes magnétiques.

Pour éclaircir cette circonstance, il faut se souvenir que notre matière subtile se meut très-aisément par les pores magnétiques où elle est séparée de l'éther, et qu'elle rencontre des obstacles très-considérables lorsqu'elle s'échappe des pores magnétiques avec sa prodigieuse vitesse, pour rentrer dans l'éther et l'air.

Supposons que la matière magnétique, après avoir traversé la barre de fer CD (*fig.* 33), entre dans la règle de fer EF, posée perpendiculairement : en entrant, elle conservera bien la même direction, et sortira en *m*, si elle ne trouvait une route plus aisée pour continuer son mouvement. Or, puisqu'elle rencontre en *m* les plus grands obstacles, elle change d'abord tant soit peu de direction vers F, où, trouvant des pores à la continuation de son mouvement, elle se détournera de plus en plus de sa première di-

rection, pour traverser la règle EF dans toute sa longueur. Il en est de même comme si la matière magnétique avait peur de sortir du fer; elle tâche de continuer son mouvement au dedans du fer tant qu'il est possible, et la longueur de la règle lui procure ici cette commodité : si elle était très-courte, la matière magnétique échapperait sans doute en *m*; mais à présent elle suit par son mouvement la direction EF que la longueur de la règle lui offre, jusqu'à ce qu'elle est obligée de s'échapper en F, puisque tous les canaux magnétiques, formés selon la même direction, ne permettent point que la matière subtile près de F puisse encore changer de direction, et retourner le long de la règle; ces canaux étant non-seulement remplis de la matière qui suit, mais aussi, par leur nature, incapables de recevoir un mouvement en sens contraire.

LETTRE XLIX.

(24 novembre 1761.)

Sur l'armature des aimants.

V. A. vient de voir comment le fer est capable de recevoir non-seulement le courant magnétique d'un aimant et de le conduire à des distances assez considérables, mais aussi d'en changer la direction. De là, en joignant à un aimant des pièces de fer, il en est à peu près de même que si l'aimant était devenu plus grand, puisque le fer acquiert la même

nature à l'égard de la matière magnétique; et comme par ce moyen on peut encore changer la direction du courant magnétique, puisque les pôles sont les endroits où la matière magnétique entre dans l'aimant et en sort, on est le maître de transporter les pôles où l'on veut.

C'est sur ce principe qu'est fondée l'armature des aimants, qui mérite bien que j'en donne une idée à V. A., puisque par là les aimants sont portés à un plus haut degré de force.

Ordinairement on donne aux aimants, comme on les tire des mines, la figure d'un parallélipipède ou d'un parallélogramme rectangle, avec une épaisseur comme AABB (*fig.* 34), où la face AA soit le pôle où la matière magnétique entre, et BB celui où elle sort. Il est donc rempli selon la longueur AB des canaux magnétiques *ab*, que la matière magnétique, sans le mélange d'aucun éther, traverse librement avec la plus grande rapidité, y étant poussée par la force élastique de l'éther. Voyons maintenant de quelle manière on est accoutumé d'armer un tel aimant.

A chaque face AA et BB (*fig.* 35), où se trouvent les deux pôles de l'aimant, on applique des plaques de fer *aa* et *bb*, terminées en bas en des boutons A′ et B′, qu'on nomme les pieds; c'est ce qu'on nomme l'*armature de l'aimant*, et alors on dit qu'il est armé. Dans cet état, la matière magnétique, qui serait échappée par la face BB, entre dans la plaque de fer *bb*, où la difficulté de s'échapper suivant sa direction dans l'air l'oblige de changer de direction

et de couler le long de la plaque *bb* dans le pied B', où elle est bien obligée de sortir, n'y trouvant plus de fer pour y continuer son mouvement. De l'autre côté, il en est de même; toute la matière subtile y sera conduite par le pied A', d'où elle passera par la plaque *aa*, en changeant de direction pour entrer dans l'aimant et y parcourir les canaux magnétiques : car, d'abord la matière subtile contenue dans la plaque entre dans l'aimant, et à celle-ci succède celle qui se trouve dans le pied A', qui est remplacée par celle de dehors, laquelle, y étant poussée par l'élasticité de l'éther, pénètre le pied A' et la plaque *aa* avec la plus grande rapidité, dont la force est capable d'y arranger les pôles et former des canaux magnétiques.

L'on voit par là que des deux côtés le mouvement doit être le même, avec cette seule différence que la matière magnétique entrera par le pied A' et sortira par l'autre pied B', de sorte que c'est à présent dans ces pieds que se trouvent les pôles de l'aimant armé; et comme les pôles, qui étaient auparavant répandus par les faces AA et BB, sont à présent réunis dans les bases des pieds A et B, il est très-naturel que la force magnétique dans ces nouveaux pôles doit être considérablement plus grande.

Aussi dans cet état le tourbillon magnétique se formera plus aisément; la matière magnétique qui sort par le pied B' retournera aisément, en passant par C dans le pied A', et le reste du corps de l'aimant ne sera plus entouré d'aucun tourbillon, si ce n'est que quelque peu de matière magnétique

n'échappe par la plaque *bb*, ne pouvant pas changer de direction si subitement, et qu'il en entre aussi quelque peu par la plaque *aa*, d'où naîtrait aussi un faible tourbillon qui conduirait la matière subtile immédiatement par la plaque *bb* en *aa*. Cependant, si l'armature est bien faite, ce second tourbillon est presque insensible, et par conséquent le courant entre les pieds d'autant plus fort.

La règle principale de bien armer les aimants est de bien polir tant les deux faces AA et BB de l'aimant que les plaques de fer, de sorte qu'en les y appliquant elles touchent partout parfaitement l'aimant. La raison en est bien évidente, puisque la matière subtile passe aisément de l'aimant dans le fer, quand il n'y a point d'autre matière entre eux ; mais dès qu'il y aurait un vide ou de l'air entre l'aimant et les plaques, la matière magnétique y perdrait presque tout son mouvement; son cours serait interrompu, et ne suffirait plus pour se frayer le chemin par le fer, en y formant des canaux magnétiques.

Outre cela, le fer le plus mou ou le plus doux est le plus propre pour ces armatures, puisque ses pores sont très-pliables, et se rangent fort aisément selon le courant de la matière magnétique; aussi un tel fer paraît-il très-propre à faire changer subitement la direction du courant; et il semble que la matière magnétique affecte d'y poursuivre sa route aussi longtemps qu'il est possible, et qu'elle n'en sort que lorsqu'il ne lui est plus possible d'y continuer son mouvement : elle aime mieux faire le plus grand

tour que de le quitter. Cela n'arrive pas dans l'aimant même, puisque les canaux magnétiques y sont déjà formés, ni dans l'acier, dont les pores n'obéissent pas si aisément aux efforts d'un courant magnétique. Mais quand une fois dans l'acier de tels canaux sont formés, ils se maintiennent aussi plus longtemps, et conservent par là leur force magnétique; pendant que le fer doux, quelque force qu'il ait exercée dans le voisinage d'un aimant, la perd presque tout à fait dès qu'on l'en ôte.

Pour les autres circonstances de l'armature, il faut consulter l'expérience; comme, par rapport à l'épaisseur des plaques, on trouve qu'une trop grande est aussi bien nuisible qu'une trop mince : mais pour la plupart, les plaques les plus convenables sont très-minces; ce qui pourrait paraître fort étrange, si nous ne savions pas que la matière magnétique est encore beaucoup plus subtile que l'éther, et que par conséquent la plus mince plaque est suffisante pour en recevoir une très-grande quantité.

LETTRE L.

(21 novembre 1761.)

Sur l'action et la force des aimants armés.

C'est donc aux pieds de l'armature qu'un aimant armé exerce sa plus grande force, puisque ses pôles y sont réunis; et chaque pied est capable de sup-

porter un poids de fer, d'autant plus grand que l'aimant est bon et excellent.

Ainsi un aimant AABB (*fig.* 36), armé de plaques de fer *aa* et *bb* terminées par les pieds A′ et B′, porera non-seulement par le pied A′ la règle de fer CD; mais celle-ci portera encore une plus petite EF, celle-ci encore une autre plus petite GH, qui portera à son tour encore une aiguille IK, qui enfin attirera de la limaille de fer L. La raison en est que la matière magnétique enfile toutes ces pièces pour entrer dans le pôle A′; ou, si c'était l'autre pôle par lequel la matière magnétique sort de l'aimant, elle enfilerait de la même manière les pièces CD, EF, GH, IK; or, toutes les fois que la matière, en sortant d'une pièce de fer, entre dans une autre, on observe une attraction entre ces deux pièces, ou plutôt elles sont poussées l'une à l'autre par l'éther environnant, parce que le courant de la matière magnétique entre elles diminue la pression de l'éther.

Quand on charge de cette manière l'un des pôles de l'aimant, son tourbillon souffre un changement de direction très-essentiel; car, comme sans cette charge la matière magnétique qui sort du pôle B′, en détournant son cours coule vers l'autre pôle A′, maintenant l'entrée dans ce pôle étant suffisamment fournie par les pièces soutenues, il faut bien que la matière qui sort du pôle B prenne un tout autre chemin, qui la conduise enfin à la dernière pièce IK. Une portion en sera aussi sans doute portée vers la pénultième GH, et aussi vers les précédentes, puis-

ıe les suivantes, comme plus petites, ne fournisnt pas suffisamment aux précédentes; mais touurs le tourbillon s'étendra jusqu'à la dernière. ır ce moyen, en proportionnant bien toutes ces èces entre elles en longueur et en épaisseur, l'aiant est capable d'en porter beaucoup plus que si ı le chargeait d'une seule pièce, où la figure entre ssi principalement en considération. Mais pour i faire porter la plus grande charge qu'il soit pos-ıle, il faut faire en sorte que les deux pôles réussent leurs forces.

Pour cet effet on applique aux deux pôles A' et (*fig.* 37) un morceau de fer doux CD, qui touche ırfaitement les bases des pieds, et dont la figure it telle, que la matière magnétique qui sort par B trouve le plus commode passage pour rentrer par utre bout A'. Un tel morceau de fer est nommé le pport de l'aimant; et puisqu'en B' la matière maıétique en sortant de l'aimant y entre, et qu'en A' ı sortant du support elle entre dans l'aimant, le pport sera attiré aux deux pôles à la fois, et y tien-'a par conséquent avec une force très-grande. ›ur connaître cette force réunie que l'aimant erce, on attache au support par le milieu E un ›ids P, qu'on augmente jusqu'à ce que l'aimant ne ›it plus capable de le soutenir, et alors on dit que poids contre-balance la force magnétique de l'aiant: ainsi V. A. entendra, quand on dit que tel mant porte dix livres, un autre trente livres, etc. n prétend aussi que le cercueil de Mahomet est ›rté par la force d'un aimant; ce qui ne serait pas

impossible, puisqu'on a déjà fait des aimants artificiels qui portent au delà de 100 livres.

Un aimant garni de son support ne laisse rien échapper de la matière magnétique, qui achève son tourbillon tout entier au dedans de l'aimant et du fer, de sorte que rien n'en échappe dans l'air. Donc, puisque le magnétisme n'exerce sa force qu'en tant que la matière magnétique s'échappe d'un corps pour rentrer dans l'autre, un tel aimant, dont le tourbillon est fermé, ne devrait nulle part exercer aucune force magnétique : cependant, quand on le touche sur la plaque en *a* avec la pointe d'une aiguille, on y sentira une forte attraction. La raison en est, parce que la matière magnétique étant obligée de changer subitement de direction pour entrer dans les canaux de l'aimant, elle trouve à présent une route plus commode en traversant l'aiguille, et par conséquent elle sera attirée à la plaque *aa*. Mais par là même le tourbillon en dedans sera dérangé, il ne coulera plus si copieusement dans les pieds; et si l'on touche la plaque par plusieurs aiguilles, ou qu'on y applique des règles de fer plus fortes, on détruira tout à fait le courant par les pieds, et la force qui attire le support s'évanouira entièrement, de sorte que le support en sera aisément arraché. L'on reconnaît par là que les pieds perdent autant de leur force magnétique que l'aimant en exerce en d'autres endroits, et par là on est en état d'expliquer plusieurs phénomènes très-surprenants, qui, sans la théorie, seraient absolument irrésolubles.

ici qu'il faut aussi rapporter l'expérience
us apprend qu'après avoir appliqué à un ai-
ırmé son support, on peut de jour en jour
ıter le poids qu'il est capable de porter,
l portera enfin un poids qui surpasse sou-
: double de celui qu'il aura porté d'abord. Il
onc de faire voir comment, avec le temps, la
ıagnétique dans les pieds de l'armature peut
r plus grande. Or, le cas rapporté ci-dessus
dérangement du tourbillon, nous apprend
itôt qu'on a appliqué le support, le courant
natière magnétique sera encore assez irrégu-
'une bonne partie s'en échappera encore par
ue *bb*, et que ce ne sera qu'avec le temps
se frayera par le fer des canaux magnétiques :
st-il probable que lorsque le courant est de-
lus libre, il s'en formera de nouveaux dans
t même, en tant qu'il contient, outre ses ca-
xes, encore des pôles mobiles comme le fer.
lès qu'on arrache le support, le courant est
: par là; et ces nouveaux canaux en grande
létruits, la force redevient subitement aussi
ju'elle a été au commencement, et il faut at-
de nouveau quelque temps, jusqu'à ce que
aux, avec le tourbillon, soient remis dans
ıt précédent. J'avais autrefois fait un tel ai-
tificiel, qui d'abord ne portait que dix livres;
ès quelque temps, je fus très-surpris de voir
ı portait plus de trente. Au reste, on re-
: cela principalement dans les aimants arti-
que le seul temps les renforce très-considé-

rablement, mais aussi que cet accroissement de force ne dure que jusqu'à ce qu'on en arrache le support.

LETTRE LI.

(24 novembre 1761.)

Sur la manière de communiquer à l'acier la force magnétique; de la manière d'aimanter les aiguilles de boussoles; de la simple touche, de ses défauts, et des moyens d'y remédier.

Après avoir expliqué à V. A. la nature des aimants en général, il me reste un article aussi curieux qu'intéressant, qui regarde la manière dont on communique au fer et principalement à l'acier la force magnétique, et même la plus grande qu'il est possible.

V. A. a bien vu que, plaçant du fer dans le tourbillon magnétique d'un aimant, il acquiert une force magnétique, mais qui s'évanouit presque tout à fait dès qu'on l'éloigne de l'aimant, et que le seul tourbillon de la terre est capable d'imprimer au fer, avec le temps, une légère force magnétique : or, l'acier étant plus dur que le fer, et presque tout à fait insensible à cette action d'un tourbillon magnétique, il faut des opérations plus fortes pour le rendre magnétique, mais aussi conserve-t-il alors cette force magnétique plus longtemps.

Pour cet effet, il faut recourir à l'attouchement et même au frottement; je commencerai donc par expliquer de quelle manière on s'est servi autrefois

pour rendre magnétiques les aiguilles dont on se sert dans les boussoles : toute cette opération ne consistait qu'à les frotter à un pôle d'un aimant excellent, soit nu, soit armé.

On posait l'aiguille *abc* (*fig.* 38) sur une table, et on passait le pôle B de l'aimant par-dessus de *b* vers *a*, et étant parvenu au bout *a*, on levait l'aimant bien haut, et on le ramenait par l'air en *b*: on répétait cette opération plusieurs fois de suite, et on prenait toujours bien garde que l'autre pôle de l'aimant n'approchât point de l'aiguille, puisqu'il y gâterait tout. Après avoir passé quelquefois le pôle B de l'aimant sur l'aiguille de *b* en *a*, on verra que l'aiguille est devenue magnétique, et que le bout *b* sera le pôle du même nom que celui de l'aimant dont on a frotté. Donc, si l'on veut que le bout *b* devienne le bout boréal, en frottant avec le pôle boréal de l'aimant, il faut passer de *b* vers *a*; mais si l'on voulait frotter avec le pôle méridional de l'aimant, il faudrait l'appliquer au bout *a*, et le passer au bout *b*.

Cette manière de frotter ou toucher est nommée *la simple touche*, puisqu'on ne touche que d'un seul pôle; mais elle est fort défectueuse, et ne communique à l'aiguille que peu de force, l'aimant fût-il même très-excellent : aussi ne réussit-elle pas lorsque l'acier est porté au plus haut degré de dureté, ce qui serait pourtant l'état le plus propre pour la conservation du magnétisme. V. A. jugera elle-même fort aisément des défauts de cette manière à la simple touche.

Supposons que B soit le pôle de l'aimant par où sort la matière magnétique, puisque les effets des deux pôles sont si semblables, qu'il est impossible d'y remarquer la moindre différence. Ayant posé le pôle sur le bout *b* de l'aiguille, la matière magnétique y entre avec toute la rapidité dont elle se meut dans l'aimant, et qui est incomparablement plus grande que celle du tourbillon qui est hors de l'aimant dans l'air. Mais que deviendra cette matière dans l'aiguille? elle ne saurait sortir par le bout *b*; elle s'efforcera donc de percer par l'aiguille vers *a*, et le pôle B, marchant du même côté, favorisera ces efforts; mais dès que le pôle B parviendra vers *a*, la difficulté de sortir par le bout *a* causera des efforts contraires, dont la matière magnétique sera poussée de *a* vers *b*; et avant que le premier effet soit entièrement détruit, celui-ci ne saurait avoir lieu. Ensuite, quand on porte de nouveau le pôle B sur le bout *b*, on détruit encore ce dernier effet, mais pourtant sans produire un courant en sens contraire de *b* vers *a*; et par conséquent lorsque le pôle B parviendra au delà de *c* vers *a*, il produira plus aisément un courant de *a* vers *b*, surtout quand on appuiera plus fort sur la moitié *ca*; d'où il est clair que l'aiguille ne saurait acquérir que peu de force magnétique.

Quelques-uns aussi ne frottent que la moitié *ca*, en passant de *c* vers *a*; et d'autres ne font que toucher le bout *a* de l'aiguille par le pôle B de l'aimant, et cela à peu près avec le même succès. Mais il est évident que la matière magnétique qui entre par le

out *a* ne saurait agir assez vigoureusement pores de l'aiguille pour les arranger confornt à la nature magnétique, et que la force qui a imprimée par cette méthode doit être trèset même nulle, si l'acier est bien trempé.

il me semble qu'on pourrait remédier à ces s de la simple touche de la manière suivante, ccès de laquelle je ne doute point, quoique je e pas encore essayée, puisque d'autres expés semblables m'en assurent.

oudrais enchâsser le bout *b* (*fig.* 40) de l'aidans une règle de fer doux EF; et je crois erait bon de faire cette règle très-mince, et étroite qu'il est possible; mais le bout y doit arfaitement appliqué, et même enchâssé dans eux bien ajusté. Quand on pose le pôle B de nt sur le bout *b* de l'aiguille, la matière maue qui y entre, ne trouvant presque aucune ulté à traverser la règle de fer, prendra d'abord ours dans la direction *bd;* et à mesure que le avance vers *a*, la matière magnétique, pour uer ce cours, n'a qu'à arranger les pores sur ls elle agit immédiatement; et quand on sera u jusqu'en *a*, tous les pores, ou au moins la rt, seront déjà disposés suivant cette direction. te, quand on recommence à frotter le bout *b*, détruit rien, mais on continue de perfectioncourant de la matière magnétique suivant la direction *bd*, en arrangeant aussi les pores nt résisté à la première opération; et ainsi les x magnétiques dans l'aiguille deviendront de

plus en plus parfaits. Or, quelques traits du pôle B seront suffisants pour cet effet, pourvu que l'aimant ne soit pas très-faible; et je ne doute pas que l'acier le mieux trempé, ou rendu aussi dur qu'il est possible, n'obéisse à cette méthode; ce qui est un grand avantage pour la construction des boussoles, puisqu'on a remarqué que les aiguilles ordinaires perdent souvent, par un léger accident, toute leur force magnétique, ce qui exposerait les vaisseaux aux plus grands dangers, si l'on n'en avait pas d'autres en réserve. Mais quand on fait les aiguilles d'un acier bien trempé, ces accidents ne sont point à craindre; et comme il faut plus de force pour les rendre magnétiques, elles conservent aussi cette qualité avec plus de vigueur.

LETTRE LII.

(28 novembre 1761.)

Sur la double touche, et les moyens de conserver la matière magnétique dans les barres aimantées.

Au lieu de cette méthode d'aimanter le fer ou l'acier par la simple touche, en le frottant d'un seul des pôles d'un aimant, on se sert aujourd'hui de *la double touche*, où l'on frotte avec les deux pôles à la fois, ce qui se fait aisément par un aimant armé.

Soit EF (*fig.* 41) une barre de fer ou d'acier qu'on veut rendre magnétique: après l'avoir bien fixée sur

une table, on y pose les deux pieds A et B d'un aimant. Dans cet état, V. A. verra aisément que la matière magnétique qui sort de l'aimant par le pied B pénétrera dans la barre, et s'y répandrait en tout sens, si le pied A n'attirait de son côté la matière magnétique contenue dans les pores de la barre. Cet épuisement en *d* déterminera donc la matière qui entrera par le pôle B à prendre son cours de *c* vers *d*, pourvu que les deux pôles A et B ne soient pas trop éloignés l'un de l'autre. Alors le courant magnétique se frayera un chemin dans la barre pour passer du pôle B dans le pôle A, en y disposant les pores à former des canaux magnétiques. Il est fort aisé de s'assurer si cet effet arrive : on n'a qu'à voir si l'aimant est fortement attiré à la barre ; ce qui ne manque jamais si la barre est de fer doux, puisque la matière magnétique le pénètre aisément. Mais si la barre est d'acier, l'attraction est souvent fort petite, ce qui est alors une marque que la matière magnétique n'est pas capable de s'ouvrir le passage de *c* vers *d*; d'où l'on conclut, ou que l'aimant est trop faible, ou que l'espace entre ses deux pôles est trop grand : il faudra donc, dans ce cas, employer un autre aimant, ou plus fort, ou dont les pieds soient plus proches, ou enfin changer l'armature de l'aimant de la manière représentée (*fig.* 42).

Mais j'aurai bientôt l'honneur de proposer d'autres moyens pour remédier à cet inconvénient.

Ayant donc disposé dans les petits intervalles *cd* (*fig.* 42) les pores convenablement au magnétisme, on n'a qu'à passer et repasser plusieurs fois l'aimant

sur la barre d'un bout à l'autre sans l'en ôter, jusqu'à ce qu'on s'aperçoive que l'attraction n'augmente plus : car c'est un principe bien sûr que l'attraction croît à mesure que la force magnétique augmente. Par cette opération, la barre EF deviendra magnétique, en sorte que le bout E, vers lequel le pôle B était tourné, sera le pôle ami de A, et par conséquent du même nom que l'autre pôle B. Ensuite, en ôtant l'aimant, puisque des canaux magnétiques sont formés par toute la longueur de la barre, la matière magnétique répandue dans l'air traversera ces canaux, et fera de la barre un véritable aimant. Elle entrera par le bout *a* et sortira par le bout *b*, d'où une partie, au moins, retournera en *a*, et formera un tourbillon, selon que la figure de la barre le permet.

A cette occasion, je remarque que la formation d'un tourbillon est absolument nécessaire à augmenter le magnétisme; car si toute la matière magnétique qui sort par le bout *b* échappait et se dispersait entièrement, sans retourner en *a*, l'air ne suffirait pas à en fournir assez à l'autre bout *a*, ce qui diminuerait la force magnétique. Mais si une bonne partie de celle qui échappe par le bout *b* retourne en *a*, l'air est bien suffisant pour fournir le reste, et peut-être encore davantage, si les canaux magnétiques de la barre sont capables de la recevoir; dans ce cas donc, la barre acquerra une beaucoup plus grande force magnétique.

Cette considération me conduit à exposer à V. A. de quelle manière on peut conserver la matière magnétique dans les barres aimantées. Comme il s'agit

d'empêcher que la matière magnétique qui les traverse ne se disperse *point* dans l'air, on dispose ces barres toujours par paires qui sont de la même grandeur. On les met dans une situation parallèle sur une table, en sorte que les pôles amis ou de différents noms soient tournés du même côté (*fig.* 43).

MM et NN représentent les deux barres dont les pôles amis *a*, *b*; *b*, *a*, sont tournés du même côté. Pour ne pas se tromper, on fait d'abord sur chaque barre une marque, comme ×, au bout où est le pôle boréal, et on leur applique de chaque côté un morceau de fer doux EE et FF, pour recevoir le courant magnétique. De cette manière, toute la matière magnétique qui traverse la barre MM et sort par le bout *b* passe dans le morceau de fer EE, et s'y ouvre aisément le chemin pour passer dans le bout *a* de l'autre barre NN, d'où elle entrera par le bout *b* dans l'autre morceau de fer FF, qui la reconduit dans la première barre MM par le bout *a*. C'est ainsi que la matière magnétique continuera à circuler, sans qu'il en échappe rien; et, en cas même qu'il n'y en eût pas d'abord assez pour remplir le tourbillon, l'air y fournira le reste, et le tourbillon par les deux barres demeurera dans toute sa force.

On peut aussi d'abord employer cette disposition des deux barres pour les aimanter l'une et l'autre à la fois. On n'a qu'à passer les deux pôles d'un aimant sur les deux barres, en passant de l'une à l'autre par les morceaux de fer, et de cette manière faire plusieurs tours, en faisant bien observer que les

deux pôles de l'aimant A et B soient tournés comme la figure ci-dessus l'indique.

Cette manière d'aimanter deux barres à la fois sera sans doute plus efficace que la précédente, puisque, dès le premier tour qu'on aura fait avec l'aimant, la matière magnétique commencera à couler par les deux barres, moyennant les deux morceaux de fer. Ensuite, en continuant à passer l'aimant sur les deux barres, on y rangera une plus grande quantité de pores conformément au magnétisme, et on y ouvrira plusieurs canaux magnétiques, dont le tourbillon magnétique sera de plus en plus fortifié, sans qu'il souffre aucun affaiblissement. Si les barres sont épaisses, il sera bon de les tourner et de les frotter aussi sur les autres faces, de la même manière, afin que l'action magnétique les pénètre tout à fait.

Ayant déjà acquis de telles barres magnétiques MM, NN (*fig.* 44), on peut s'en servir au lieu d'un aimant naturel pour en aimanter d'autres. On les joint en haut ensemble, de sorte que les deux pôles amis *a*, *b* se touchent; et en bas on éloigne les deux autres pôles amis *b* et *a*, autant qu'on le juge à propos. Ensuite, par les deux bouts d'en bas qui tiennent lieu des deux pôles d'un aimant, on frotte deux autres barres EF de la manière que j'ai expliqué ci-dessus.

Comme ces deux barres sont jointes en forme de compas, on a la commodité de les ouvrir aussi peu qu'on veut, à quoi un aimant n'est pas propre; or, en haut, où les barres se touchent, le courant

magnétique passera aisément de l'une dans l'autre; on y pourrait encore mettre un petit morceau de fer doux P, pour mieux entretenir ce courant; et de cette manière on aimantera très-promptement autant de doubles barres qu'on voudra.

LETTRE LIII.

(1er décembre 1761.)

Comment on communique à des barres d'acier une force magnétique très-grande, par le moyen d'autres barres qui n'en ont qu'une très-faible.

Quoique cette manière d'aimanter à double touche soit fort préférable à la précédente, on ne saurait cependant porter la force magnétique au delà d'un certain degré. Soit qu'on se serve d'un aimant naturel ou de deux barres magnétiques pour frotter d'autres barres, celles-ci n'acquerront jamais tant de force que celles-là; l'effet ne saurait jamais être plus grand que la cause.

Si les barres dont on frotte ont peu de force, les autres qui en sont frottées en auront encore moins; la raison en est évidente : car comme des barres destituées de toute force magnétique n'en sauraient produire en d'autres, une petite force magnétique n'est pas capable d'en produire une plus grande, au moins par la méthode que je viens de décrire.

Mais on ne doit pas prendre à la rigueur cette

règle, comme s'il était absolument impossible de produire une plus grande force magnétique à l'aide d'une plus petite. J'aurai l'honneur d'expliquer à V. A. une méthode par laquelle on est en état d'augmenter la force magnétique presque aussi loin qu'on voudra, et cela en commençant par la plus petite. C'est une découverte de ces derniers temps, qui mérite d'autant plus d'attention, qu'elle nous éclaircit incomparablement mieux sur la nature du magnétisme.

Supposons donc qu'on n'ait d'abord qu'un très-faible aimant, ou bien, au défaut d'un aimant naturel, des barres de fer rendues tant soit peu magnétiques par le seul tourbillon de la terre, comme j'ai eu l'honneur de l'exposer à V. A. dans mes lettres précédentes. Alors, qu'on se procure huit barres d'acier qui ne soient que fort petites et non trempées, pour recevoir plus aisément la petite force magnétique que le faible aimant, ou les barres mentionnées, que je suppose tant soit peu magnétiques, sont capables de leur communiquer en frottant chaque paire ou couple de la manière que j'ai exposée précédemment. Ayant maintenant quatre paires de barres tant soit peu magnétiques, qu'on en prenne deux paires, et qu'on les joigne ensemble.

Des deux barres, en les réunissant ensemble par les pôles du même nom, on n'en fait qu'une seule d'une épaisseur double, et alors on forme le compas des deux barres doublées AC et BD (*fig.* 45), qui se touchent en haut CD, où, pour mieux entre-

tenir le courant magnétique, on peut mettre un morceau de fer doux P. En bas, on en ouvre les jambes autant qu'on le juge à propos, et on en frotte les autres paires l'une après l'autre, qui par ce moyen acquerront plus de force qu'auparavant, puisque deux paires y réunissent leurs forces. A présent on n'a qu'à joindre ces deux paires nouvellement frottées ensemble de la même manière, et en frotter, l'une après l'autre, les deux autres paires dont on s'était servi la première fois, et la force de celle-ci sera considérablement augmentée. On joindra ensuite ces deux paires ensemble, et on frottera encore les autres pour y augmenter la force magnétique; et ainsi on continuera de frotter alternativement deux paires par les deux autres jointes ensemble. Par cette opération, on les portera bientôt à un degré de force tel, qu'il ne sera plus susceptible d'augmentation ultérieure, quand même on la continuerait plus longtemps. Quand on a plus de quatre paires de telles barres, au lieu de deux paires, on en peut aussi joindre trois ensemble, et en frotter ensuite les autres paires: par ce moyen on les portera plus vite au plus haut degré.

Maintenant les plus grands obstacles sont surmontés; et à présent, par le moyen de ces barres, en joignant deux ou même plusieurs paires ensemble, on en frottera d'autres faites d'un acier bien trempé, et qui sont, ou de la même grandeur, ou encore plus grandes que les premières, et de cette façon on communiquera aussi à celles-ci la plus grande force dont elles sont susceptibles.

En commençant par de petites barres telles que je viens de décrire, on peut pousser ces opérations successivement jusqu'à des barres d'une énorme grandeur et faites d'un bon acier trempé, où la force magnétique est le moins assujettie à la destruction. Il faut seulement observer que, pour frotter de grandes barres, il faut en joindre plusieurs paires ensemble, dont le poids soit au moins deux fois plus grand que celui d'une grande barre. Mais il vaudra toujours mieux aller par degrés, et frotter chaque espèce des barres par d'autres qui ne sont pas beaucoup plus petites, où il suffirait d'en joindre deux paires ensemble: car, quand on est obligé de joindre plusieurs paires ensemble, les bouts par lesquels on frotte auront une trop grande étendue, et la matière magnétique, qui passe par là, s'empêchera elle-même de se diriger suivant la barre frottée; et cela d'autant plus qu'elle entre dans la barre perpendiculairement, tandis qu'il est nécessaire qu'elle y prenne une direction horizontale.

Pour faciliter ce changement de direction, il est bon que la matière magnétique y soit conduite par un petit espace, et qu'elle ait déjà une direction approchante de celle qu'elle doit prendre au dedans de la barre touchée; je crois qu'on réussirait à cet égard de la manière suivante:

La *fig.* 46 représente cinq paires MM NN, jointes ensemble, mais non pas en forme de compas. En haut, il y a une barre de fer doux CD pour entretenir le tourbillon; en bas, je ne frotte pas immé-

iatement par les bouts des barres, mais de chaque ôté j'enchâsse ces bouts dans un pied de fer doux, n les y affermissant par quelques vis O. Chaque ied se courbe en bas AB, en sorte que la direction e la matière magnétique, qui traverse librement es pieds, s'approche déjà beaucoup de l'horizonile, et que dans la barre frottée EF elle n'a pas esoin de changer beaucoup de direction. Par le ioyen de ces pieds, je ne doute nullement que la arre EF ne reçoive une beaucoup plus grande orce magnétique que si on la frottait immédiateient par les bouts des barres, dont la grosseur et la irection verticale s'opposent naturellement à la ormation des canaux magnétiques dans la barre F : aussi peut-on, en suivant cette méthode, aprocher ou éloigner les extrémités des pieds A et B volonté.

Enfin, je ne dois pas omettre de remarquer que orsque ces barres perdent avec le temps de leur orce magnétique, on les rétablit aisément par les iêmes opérations.

LETTRE LIV.

(5 décembre 1761.)

ur la fabrique des aimants artificiels en forme de fers à cheval.

Quiconque veut faire des expériences sur le manétisme doit être pourvu d'un grand nombre de elles barres magnétiques, depuis les plus petites

jusqu'aux plus grandes, dont chacune peut être regardée comme un aimant à part, ayant ses deux pôles, l'un boréal et l'autre méridional.

V. A. trouvera très-remarquable que, moyennant la plus faible force magnétique que nous fournit, soit un misérable aimant naturel, soit quelques pincettes de la cheminée, qui par le temps ont contracté un peu de magnétisme, on soit en état d'augmenter cette force de plus en plus, jusqu'à faire les plus grandes barres d'acier douées du plus haut degré de force magnétique dont elles soient susceptibles. Il serait superflu d'ajouter que par cette méthode on peut faire les meilleures aiguilles aimantées, non-seulement beaucoup plus grandes que les ordinaires, mais aussi faites d'un acier trempé au plus fort, ce qui les rend plus durables. Je dirai encore quelque chose sur la fabrique des aimants artificiels, qui ont pour la plupart la figure d'un fer à cheval, comme V. A. se souviendra d'en avoir vu.

Ces aimants artificiels rendent dans toutes les occasions les mêmes services que les naturels, et nous procurent, outre cela, l'avantage d'en avoir de plus forts, en leur donnant une grandeur suffisante. On les fait d'acier bien trempé, et la figure d'un fer à cheval semble la plus propre pour maintenir le tourbillon. Après que l'ouvrier a fait une telle pièce, on lui communique la force magnétique, et même la plus grande dont elle soit susceptible, par le moyen des barres magnétiques dont j'ai expliqué la construction. On comprend aisément que plus un tel aimant est grand, plus on y doit employer de gran-

des barres; et c'est la principale raison pourquoi on doit être pourvu de toutes sortes de barres.

Pour aimanter donc un tel fer à cheval HIG (*fig.* 47), qui doit être fait d'un acier bien trempé, on pose sur la table une paire de barres magnétiques AC et BD, avec leurs supports de fer doux appliqués des deux côtés, dont la figure ne représente que l'un EF, l'autre en ayant été ôté à mesure qu'on y a appliqué les pieds du fer à cheval, comme on le voit dans la figure. Dans cet état, la matière magnétique qui traverse les barres fera des efforts pour passer par le fer à cheval; mais, à cause de la dureté de l'acier trempé, elle ne sera pas suffisante pour y ranger les pores et s'ouvrir un chemin. Il faut donc employer le même moyen dont on se sert pour aimanter les barres. On prend un compas formé d'une autre paire de barres magnétiques, et on le fait passer de la même manière sur le fer à cheval, en tournant les jambes du compas convenablement aux pôles du fer à cheval : de cette manière on y ouvrira les canaux magnétiques, et la matière subtile des barres, en les traversant, formera le tourbillon magnétique. Or, dans cette opération, il faut prendre garde que les jambes du compas, en les passant sur le fer à cheval, ne touchent point les bouts A et B des barres; cela troublerait le courant de la matière magnétique qui passerait immédiatement des barres dans les jambes du compas, ou bien les tourbillons des barres et du compas se dérangeraient mutuellement.

Par cette opération, le fer à cheval acquerra une

grande force magnétique, étant traversé par un courant magnétique très-copieux; de sorte qu'il ne s'agit maintenant que de le détacher des barres, sans que le courant y soit dérangé. Si on l'arrachait brusquement, le tourbillon magnétique serait détruit, et notre aimant artificiel en retiendrait très-peu de force; ce que nous découvre aussi la nature du magnétisme.

Car puisque les canaux magnétiques ne se conservent qu'en tant que la matière magnétique les traverse actuellement, nous en concluons que les moindres particules qui forment par leurs pores ces canaux se trouvent dans un état forcé, qui ne se maintient que tant que la force du tourbillon y agit; et dès que cette force cesse, ces particules, par leur élasticité, se détourneront tant soit peu de leur situation, et les canaux magnétiques seront subitement interrompus et détruits. Nous voyons cela très-clairement dans le fer doux, dont les pores se rangent promptement à l'approche d'un tourbillon magnétique, mais ne conservent presque aucune force magnétique dès qu'on s'en éloigne; ce qui prouve suffisamment que les pores du fer sont aisément mobiles, mais en même temps doués d'un ressort qui en change d'abord la situation dès que la force cesse. Ce n'est qu'après un très-long temps que quelques pores se fixent dans la position qui leur a été imprimée par la force magnétique, et cela arrive surtout dans les barres de fer exposées long-temps au tourbillon de la terre. L'acier a bien ses pores moins flexibles, et qui se maintiennent mieux

dans l'état auquel ils ont été forcés; mais ils sont pourtant assujettis à quelque dérangement dès que la force cesse d'y agir, mais d'autant moins que l'acier est plus dur. C'est aussi la raison pour laquelle les aimants artificiels doivent être faits d'un acier très-bien trempé; si on les faisait de fer, ils acquerraient bien d'abord une très-grande force, étant appliqués aux barres magnétiques; mais aussi, au même moment qu'on les en détacherait, toute la force s'évanouirait subitement. C'est pourquoi il faut aussi prendre des précautions en détachant des barres les aimants faits d'un acier bien trempé. Pour cet effet, avant que de les en séparer, on y pose leurs supports faits d'un fer bien mou, selon la ligne MN dans la *fig.* 48, en prenant garde que le support ne touche point les barres, ce qui gâterait tout, et nous obligerait de recommencer les opérations. Alors une bonne partie de la matière magnétique qui circule dans l'aimant GHI prendra sa route par le support, et formera un tourbillon à part, qui se conservera aussi après la séparation.

Ensuite on pousse lentement le support sur les jambes de l'aimant jusqu'aux bouts, comme on voit par la figure citée; et dans cet état on le laisse reposer pendant quelque temps, afin que le tourbillon s'affermisse de plus en plus. On charge aussi le support d'un poids P, qu'on peut augmenter tous les jours; et on comprend aussi aisément que le support doit être tellement ajusté, qu'il touche parfaitement les pieds de l'aimant.

LETTRE LV.

(8 décembre 1761.)

Sur la dioptrique; des instruments qu'elle nous fournit pour renforcer notre vue; des télescopes et des microscopes. Des différentes figures qu'on donne aux verres ou lentilles (1).

Je crois que les merveilles de la dioptrique seront un sujet assez digne de l'attention de V. A. La dioptrique nous fournit deux sortes d'instruments composés de verres, qui servent à augmenter notre vue pour découvrir des objets qui échapperaient à la vue simple.

Il y a deux cas où notre vue a besoin de secours: le premier est lorsque les objets sont trop éloignés de nous pour que nous puissions les voir distinctement; tels sont les corps célestes, sur lesquels on a fait les plus importantes découvertes par le moyen de ces instruments de dioptrique. V. A. se souviendra, par exemple, très-bien de ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur les satellites de Jupiter, qui nous conduisent à la découverte de la longitude : ils ne sont visibles que par le secours de bonnes lunettes, et les satellites de Saturne en demandent encore de plus excellentes.

Tels sont encore, sur la surface de la terre, les

(1) *Voyez* dans la I[re] partie (tome I) les lettres XXXIX à XLIV.

objets fort éloignés qu'on ne saurait voir et examiner exactement que par le secours de lunettes, qui nous les représentent de la même manière que si nous les voyions de près. Ces lunettes ou instruments de dioptrique, dont on se sert pour regarder les objets fort éloignés, sont aussi nommés *télescopes* et lunettes d'observation.

L'autre cas où notre vue a besoin de secours, est lorsque les objets, quoique assez proches de nous, sont trop petits pour que nous en puissions distinguer les parties. Si l'on voulait, par exemple, découvrir toutes les parties d'une jambe de mouche ou de quelque autre insecte plus petit; s'il s'agissait d'examiner les moindres particules de notre propre corps, comme les fibres les plus petites de nos muscles, de nos nerfs, on n'y saurait réussir sans le secours de certains instruments qu'on nomme *microscopes*, qui nous représentent les petits objets de la même manière que s'ils étaient cent et même mille fois plus grands.

Voilà donc les deux sortes d'instruments, les télescopes et les microscopes, par lesquels la dioptrique supplée à la faiblesse de notre vue. Il n'y a que quelques siècles que ces instruments ont été inventés, et ce n'est que depuis ce temps qu'on a fait les plus importantes découvertes, tant dans l'astronomie, à l'aide des télescopes et lunettes, que dans la physique, à l'aide des microscopes.

Tous ces effets merveilleux ne sont produits que par une certaine figure qu'on donne à des morceaux de verre, et par une heureuse combinaison

de deux ou plusieurs de ces verres qu'on nomme *lentilles*. La dioptrique est la science qui en renferme les principes; et V. A. se souviendra encore qu'elle roule principalement sur la route que tiennent les rayons de lumière, lorsqu'ils traversent des intermédiaires transparents de différente qualité, lorsqu'ils passent, par exemple, de l'air dans le verre ou dans l'eau, et réciproquement du verre ou de l'eau dans l'air.

Tant que les rayons sont propagés dans le même milieu, comme dans l'air, ils continuent leur chemin selon des lignes droites LA, LB, LC, LD (*fig.* 49), tirées du point lumineux L, d'où ces rayons partent; et lorsqu'ils rencontrent quelque part, comme en C, un œil, ils y entrent, et y dépeignent une image de l'objet d'où ils sont partis. Dans ce cas, la vision est nommée simple, ou naturelle, et elle nous représente les objets tels qu'ils sont en effet. La science qui nous explique les principes de cette vision est nommée l'optique.

Mais lorsque les rayons, avant que d'entrer dans l'œil, sont réfléchis sur une surface bien polie, comme dans un miroir, la vision n'est plus naturelle, puisque dans ce cas-ci nous voyons les objets autrement et dans un autre lieu qu'ils sont effectivement. La science qui explique les fondements de cette vision, qui se fait par des rayons réfléchis, est nommée la catoptrique. Elle nous fournit aussi des instruments propres à augmenter la portée de notre vue; et V. A. connaît les sortes d'instruments qui, par le moyen d'un ou de deux miroirs, nous ren-

nt le même service que les lunettes composées de
rres. Ce sont ces instruments munis de miroirs
:'on nomme télescopes; mais, pour les distinguer
s lunettes ordinaires qui ne sont composées que
verres, il vaudrait mieux les appeler télescopes
toptriques, réfléchissants ou de réflexion. Ce se-
t au moins plus exactement parler; car le nom de
escopes a été en usage encore avant la décou-
rte des instruments à miroirs, et marquait alors
même chose que lunette.

Je me propose à présent d'entretenir V. A. uni-
ement des instruments dioptriques, dont nous
ons deux espèces, comme j'ai déjà eu l'honneur
le remarquer, savoir, les télescopes ou lunettes,
les microscopes. On se sert, pour les uns et les au-
s, de verres formés de plusieurs différentes ma-
res, dont je vais expliquer les diverses espèces,
rmi lesquelles il y en a d'abord trois princi-
les, selon la figure qu'on donne à la surface du
rre.

La première figure est la *plane*, lorsque la sur-
e d'un verre est plane, comme celle d'un mi-
ir ordinaire. Si l'on prend, par exemple, un mor-
au de miroir, et qu'on en ôte le vif argent attaché
a surface de derrière, on aura un verre dont les
ux surfaces seront planes, et qui aura partout la
ème épaisseur.

La seconde figure qu'on peut donner à la surface
un verre est la *convexe :* alors le verre est plus
vé dans le milieu que vers les bords.

La troisième figure enfin est la *concave :* le verre

est alors plus enfoncé dans le milieu que vers les bords.

De ces trois différentes figures qu'on peut donner à la surface d'un verre, naissent les six espèces de verres suivantes :

I. Le verre *plano-plan* est celui dont les deux surfaces sont planes.

II. Le verre *plano-convexe* a une surface plane et l'autre convexe.

III. Le verre *plano-concave* a une surface plane et l'autre concave.

IV. Le verre *convexo-convexe* est celui dont les deux surfaces sont convexes.

V. Le verre *convexo-concave* a une surface convexe et l'autre concave.

VI. Le verre *concavo-concave* enfin a les deux surfaces concaves.

La *fig.* 50 représente, sous autant de numéros, les coupes de ces verres ou lentilles.

LETTRE LVI.

(12 décembre 1761.)

Sur la différence entre les lentilles, par rapport à la courbure de leurs faces convexes et concaves. Distribution des lentilles en trois classes.

De ce que je viens de dire sur les faces convexes et concaves des lentilles, V. A. comprend aisément qu'il y en peut avoir d'une infinité de façons, puisque tant la convexité que la concavité peut être

ou moins grande. Pour les surfaces planes, il n'y que d'une seule espèce, parce qu'une surface peut être plane que d'une seule manière; mais surface convexe peut être regardée comme faipartie d'une sphère ; et selon que le rayon ou nètre de cette sphère est plus ou moins grand, onvexité en sera différente. Ou bien, comme s représentons les verres sur le papier par des de cercles, selon que ces cercles sont plus ou ns grands, il en résulte une infinité de verres, par rapport à la convexité qu'à l'égard de la cavité de leurs surfaces.

our ce qui est de la manière dont on forme et t les verres, on se donne tous les soins possibles r rendre leur figure exactement circulaire ou érique; on se sert, pour cet effet, de bassins de al, qui sont formés au tour sur une surface sphérie tant en dedans qu'en dehors.

oit AEBDFC (*fig.* 51) la coupe d'un semblable sin, qui aura deux faces AEB et CFD, dont chae peut avoir son rayon à part; quand on frotte morceau de verre sur la partie concave AEB de bassin, le verre en deviendra convexe; mais si le frotte sur la partie convexe CFD, il en devienconcave. On se sert en premier lieu de sable ur frotter le verre contre le bassin jusqu'à ce il en ait pris la figure, et ensuite on se sert d'une e fine pour le dernier poli.

'our connaître la véritable figure des faces d'une tille, on n'a qu'à mesurer le rayon de la face du sin sur laquelle cette lentille a été formée; car la

véritable mesure tant de la convexité que de la concavité des surfaces, c'est le rayon du cercle ou de la sphère qui leur convient, et dont elles font partie.

Ainsi, quand je dis que le rayon de la face convexe AEB (*fig.* 52) est de trois pouces, il faut entendre que AEB est un arc de cercle décrit avec un rayon de trois pouces, l'autre face AB étant plane.

Pour mettre encore mieux devant les yeux de V. A. la différence entre les convexités, lorsque leurs rayons sont plus ou moins grands, je mettrai ici plusieurs figures de différente convexité : deux pouces, un pouce, un demi-pouce, un tiers de pouce, un cinquième de pouce, un sixième de pouce, un huitième de pouce (*fig.* 52).

L'on voit par là que plus le rayon est petit, plus la surface est courbée, ou différente de la plane; plus au contraire le rayon est grand, plus aussi la surface approche-t-elle de la plane, ou l'arc de cercle d'une ligne droite. Si je faisais le rayon encore plus grand, on n'y apercevrait enfin presque plus la courbure. A peine la remarque-t-on dans l'arc MN (*fig.* 53), dont le rayon est de 6 pouces ou d'un demi-pied; et si le rayon était encore dix ou cent fois plus grand, la courbure deviendrait tout à fait insensible à la vue.

Cependant il n'en est pas ainsi à l'égard de la dioptrique; et j'aurai l'honneur de faire remarquer à V. A., dans la suite, que quand le rayon serait de cent ou de mille pieds, et que nous ne pourrions pas en remarquer la courbure, son effet cependant ne laisserait pas d'être encore très-sensible. Effec-

tivement il faudrait que le rayon fût infiniment grand pour que la face devienne parfaitement plane: d'où V. A. peut conclure qu'une face plane peut être regardée comme une face convexe dont le rayon est infiniment grand, ou bien aussi comme une face concave d'un rayon infiniment grand. C'est dans ce cas où la convexité et la concavité se confondent ensemble, de sorte que la face plane est le milieu qui sépare la convexité de la concavité.

Mais plus les rayons sont petits, plus les convexités et les concavités deviennent sensibles ou grandes; et de là on dit réciproquement qu'une convexité ou concavité est d'autant plus grande, que son rayon, qui en est la mesure, est petit.

Quelque grande que soit d'ailleurs la variété qui peut se rencontrer dans les lentilles ou verres, selon leurs deux surfaces, qui sont ou planes, ou convexes, ou concaves, et ceci encore d'une infinité de manières différentes; par rapport à l'effet qui en résulte dans la dioptrique, on les peut néanmoins ranger en trois classes principales, que voici:

La première classe comprend les verres qui sont partout également épais, soit que leurs deux faces soient planes et parallèles entre elles (*fig.* 54), soit que l'une soit convexe et l'autre concave, mais concentriques ou décrites du même centre, de sorte que l'épaisseur reste partout la même (*fig.* 55). De ces verres, il est à remarquer qu'ils ne changent rien dans l'apparition des objets que nous voyons par leur moyen. C'est comme s'il n'y avait rien entre nos yeux et les objets; et aussi, par cette raison,

ces verres ne sont-ils d'aucun usage dans la dioptrique. Ce n'est pas que les rayons qui entrent dans de tels verres ne souffrent aucune réfraction, mais c'est parce que la réfraction à l'entrée est parfaitement redressée à la sortie; de sorte que les rayons, après avoir traversé le verre, reprennent la même route qu'ils avaient tenue avant que d'y entrer. Ce sont donc les verres des deux autres classes qui, à cause de leur effet, font l'objet principal de la dioptrique.

La seconde classe de verres renferme ceux qui sont plus épais vers le milieu que vers les bords (*fig.* 56) : I. plano-convexe; II. convexo-convexe; III. convexo-concave ou ménisque.

L'effet en est le même, tant que l'excès de l'épaisseur du milieu sur celle des bords tient le même rapport à la grandeur du verre. On nomme pour l'ordinaire tous les verres de cette classe convexes, puisque la convexité y domine, quoique d'ailleurs une de leurs faces peut être plane et même concave.

La troisième classe contient les verres qui sont plus épais par les bords que vers le milieu (*fig.* 57) : I. plano-concave; II. concavo-concave; III. concavo-convexe ou ménisque, qui tous produisent un semblable effet, lequel dépend de l'excès d'épaisseur vers les bords sur celle du milieu. Comme la concavité prévaut dans tous ces verres de la troisième classe, on les nomme simplement concaves. Il faut bien les distinguer de ceux de la seconde classe, qui sont les convexes.

C'est des verres de ces deux dernières classes que

me propose d'entretenir V. A. dans mes lettres ivantes, en y exposant leurs effets dans la diopque.

LETTRE LVII.

(15 décembre 1761.)

De l'effet des verres convexes.

Pour expliquer à V. A. l'effet que produisent les rres tant convexes que concaves dans l'apparition s objets, il faut distinguer deux cas : l'un où l'ob- est très-éloigné du verre, et l'autre où il se trouve us rapproché.

Mais, avant que d'entreprendre cette explication, dois dire un mot sur ce qu'on nomme l'axe d'un l verre. Comme les deux surfaces sont représen- s par des arcs de cercles, on n'a qu'à tirer une ne droite par les centres de ces deux cercles; tte ligne est nommée l'axe du verre. Dans la . 58 du verre AB, le centre de l'arc AEB étant C, et celui de l'arc AFB en D, la ligne droite CD t nommée l'axe de ce verre; et il est aisé de voir ie cet axe passe par le milieu du verre. Il en est de ême si les faces des verres sont concaves. Or, si ne est plane, l'axe y sera perpendiculaire en pas- nt par le centre de l'autre face.

On peut voir par là que l'axe traverse perpendi- lairement les deux faces; et ainsi un rayon de mière qui vient dans la direction de l'axe n'y

souffre aucune réfraction, puisque les rayons qui passent d'un milieu dans un autre ne sont rompus ou réfractés qu'en tant qu'ils n'y entrent pas perpendiculairement.

On peut aussi prouver que tous les autres rayons qui passent par le milieu O du verre ne souffrent aucune réfraction, ou plutôt qu'ils redeviennent parallèles à eux-mêmes.

Pour en comprendre la raison, on n'a qu'à considérer qu'aux points E et F, les deux faces du verre sont parallèles entre elles; car l'angle MEB que fait le rayon ME avec l'arc de cercle EB, ou sa tangente en E, est ouvertement égal à l'angle PFA, que ce même rayon prolongé FP fait avec l'arc de cercle AF ou sa tangente en F. V. A. se souvient que deux tels angles sont nommés *alternes*, et qu'il est démontré que, lorsque les angles alternes sont égaux, les lignes droites sont parallèles entre elles; par conséquent les deux tangentes en E et en F seront parallèles, et il en sera de même que si le rayon MEFP passait par un verre dont les deux faces seraient parallèles entre elles. Or, nous avons vu ci-dessus que les rayons, en passant par un tel verre, ne changent point de route.

Après ces remarques, considérons un verre convexe AB (*fig.* 59), dont l'axe soit la ligne droite OEFP, et supposons qu'à une très-grande distance du verre sur son axe, il se trouve un objet ou un point lumineux O, qui répande des rayons en tout sens : il y en aura qui passeront par notre verre AB, tels que OM, OE et ON, dont celui du milieu

OE ne souffrira aucune réfraction, mais continuera sa route à travers du verre, suivant la direction FJP. Les deux autres rayons OM et ON, en passant vers les bords du verre, y seront rompus, tant en entrant qu'en sortant; de façon qu'ils concourront quelque part en J avec l'axe, et continueront ensuite leurs routes dans les directions JQ et JR : on peut aussi prouver que tous les autres rayons qui tombent entre M et N seront rompus; en sorte qu'ils se réunissent avec l'axe au même point J. Donc les rayons, qui sans l'interposition du verre auraient continué leurs routes rectilignes OM et ON, suivront après la réfraction d'autres routes, tout comme s'ils étaient partis du point J; et s'il y avait un œil quelque part en P, il en serait affecté de la même manière que si le point lumineux était actuellement en J, quoiqu'il n'y ait rien de réel. V. A. n'a qu'à supposer pour un moment qu'il y ait en J un objet réel, lequel, répandant ses rayons, serait également vu d'un œil placé en P, comme il voit à présent l'objet en O par les rayons rompus par le verre. Par cette raison, qu'il y ait en J une image de l'objet O, et que le verre AB y représente l'objet O, ou le transporte presque en J, ce n'est plus le point O qui est l'objet de la vue, c'est plutôt son image représentée en J qui en est l'objet immédiat.

Voilà donc un changement bien considérable que ce verre produit, par lequel un objet fort éloigné O est subitement transporté en J, d'où l'œil doit sans doute recevoir une tout autre impression que si l'on ôtait le verre, et que l'œil vît immédia-

tement le vrai objet O. Que V. A. considère en O une étoile, puisque nous supposons que le point O est extrêmement éloigné, le verre nous représentera en J une image de cette étoile; mais une telle image qu'on ne saurait toucher, et qui en effet n'a aucune réalité, puisqu'il n'y a rien de réel en J, si ce n'est que les rayons partis du point O sont rassemblés en J par la réfraction du verre. Il ne faut pas s'imaginer non plus que l'étoile nous paraîtrait de la même manière que si l'objet ou l'étoile existait réellement en J. En effet, un corps plusieurs milliers de fois plus grand que la terre, comment pourrait-il exister en J? tous nos sens en seraient frappés bien autrement : il faut donc bien remarquer que ce n'est qu'une image représentée en J, à peu près semblable à l'image d'une étoile représentée dans le fond de l'œil, ou bien à celle que nous voyons dans un miroir, dont l'effet n'a rien de surprenant.

LETTRE LVIII.

(19 décembre 1761.)

Sur le même sujet, et de la distance de foyer des verres convexes.

Je vais exposer à V. A., dans cette lettre-ci, l'effet que produisent les verres convexes, ou ceux qui sont plus épais par le milieu que vers les bords. Il est

vrai que tout revient à déterminer le changement que les rayons souffrent dans leur route, lorsqu'ils passent par un tel verre. Pour mettre cette recherche dans tout son jour, il faut bien distinguer deux cas : l'un où l'objet est fort éloigné du verre, et l'autre où il en est assez proche. Je considérerai donc d'abord le premier cas, où l'objet est extrêmement éloigné du verre.

Dans la *fig.* 60, MN est le verre convexe, et la droite OABJS son axe qui passe perpendiculairement par le milieu du verre : remarquons, en passant, que cette propriété que l'axe de chaque verre passe perpendiculairement par son milieu, nous en donne la plus juste idée qu'on puisse s'en former. Concevons maintenant que sur cet axe il se trouve quelque part en O un objet OP, que je représente ici comme une ligne droite, quelque figure qu'il puisse d'ailleurs avoir; et, comme chaque point de cet objet lance ses rayons en tout sens, il ne s'agit ici que de ceux qui tombent sur le verre.

Premièrement, je bornerai mes réflexions sur ceux qui proviennent du point O, situé dans l'axe même du verre. La figure nous représente trois de ces rayons, OA, OM et ON, dont le premier, OA, passant par le milieu du verre, ne souffre aucun changement dans sa route, qu'il continue après avoir traversé le verre selon la première direction BJS, c'est-à-dire dans l'axe du verre; mais les deux autres rayons OM et ON souffrent une réfraction, tant en entrant qu'en sortant du verre, par laquelle ils sont détournés de leur première route; de façon

qu'ils se réuniront quelque part en J avec l'axe, d'où ils continueront leurs nouvelles routes dans les lignes droites MJQ et NJR; de sorte que dans la suite, lorsqu'ils rencontreront un œil, ils y produiront le même effet, comme si le point O existait actuellement en J, puisqu'ils tiennent la même route. Par cette raison, on dit que le verre convexe transporte l'objet de O en J; mais, pour distinguer ce point J du vrai point O, on nomme celui-là l'image de celui-ci, qui à son tour est nommé l'objet.

Ce point J est très-remarquable; et lorsque l'objet O est extrêmement éloigné, l'image en est aussi nommée le foyer du verre; j'en expliquerai la raison à V. A. Si c'est le soleil qui tient lieu d'objet en O, les rayons qui tombent sur le verre en sont tous réunis dans le lieu J; et, comme ils sont extrêmement forts et doués de la qualité d'échauffer, il est naturel que la réunion de tant de rayons qui se fait en J doit y produire un très-haut degré de chaleur, capable de brûler les choses combustibles qu'on met en J. Or, un tel lieu, où tant de chaleur est réunie, se nomme un *foyer;* la raison de cette dénomination à l'égard des verres convexes est évidente. C'est pourquoi un tel verre convexe est aussi nommé un verre ardent, dont les effets sont sans doute bien connus à V. A.: je remarque seulement que cette propriété de réunir les rayons du soleil dans un certain point qu'on nomme leur foyer, convient à tous les verres convexes; ils réunissent aussi les rayons de la lune, des étoiles, et de tous les corps fort éloignés, dans le même lieu; et quoique leur

force soit trop petite pour produire quelque chaleur, on se sert pourtant du même nom de foyer, et ainsi le foyer d'un verre n'est autre chose que le lieu où l'image des objets fort éloignés est représentée : à quoi il faut encore ajouter cette condition, que l'objet soit situé dans l'axe même du verre ; car s'il était hors de l'axe, son image serait aussi représentée hors de l'axe. J'aurai occasion d'en parler dans la suite.

Au reste, il est bon d'ajouter encore les remarques suivantes sur le foyer :

1. Comme le point O ou l'objet est infiniment éloigné, les rayons OM, OA et ON peuvent être considérés comme parallèles entre eux, et par la même raison parallèles à l'axe du verre.

2. Le foyer J est donc le point, derrière le verre, où les rayons parallèles à l'axe, qui tombent sur le verre, sont réunis par la réfraction du verre.

3. Le foyer d'un verre, et le lieu où l'image d'un objet infiniment éloigné et situé dans l'axe du verre est représentée, sont la même chose.

4. L'éloignement du point J derrière le verre, ou bien la distance BJ, est nommé la distance du foyer du verre. Quelques auteurs la nomment aussi la *distance focale*.

5. Chaque verre convexe a sa distance de foyer particulière, l'une plus grande et l'autre plus petite ; ce qu'on trouve aisément en exposant le verre au soleil, et observant où les rayons se réunissent.

6. Les verres qui sont formés par des arcs de petits cercles ont leur foyer fort près derrière eux ;

mais ceux dont les faces sont des arcs de grands cercles ont leurs foyers plus éloignés.

7. Il est important de savoir la distance du foyer de chaque verre convexe dont on se sert dans la dioptrique; et il suffit d'en connaître le foyer, pour juger de tous les effets qu'on en doit attendre, tant dans les lunettes ou télescopes que dans les microscopes.

8. Si l'on se sert de verres également convexes des deux côtés, de sorte que chaque face réponde au même cercle, alors le rayon de ce cercle donne à peu près la distance du foyer de ce verre : ainsi, pour faire un verre ardent qui brûle à la distance d'un pied, on n'a qu'à former ses deux faces suivant un cercle dont le rayon est d'un pied.

9. Mais lorsque le verre est plano-convexe, sa distance de foyer est à peu près égale au diamètre du cercle qui convient à la face convexe.

L'intelligence de ces termes rendra ce que nous avons encore à dire facile à entendre.

LETTRE LIX.

(22 décembre 1761.)

Sur la distance de l'image des objets.

Ayant remarqué qu'un objet éloigné à l'infini est représenté par un verre convexe dans son foyer même, pourvu que cet objet se trouve dans l'axe du verre, je passe aux objets plus proches, mais

toujours situés dans l'axe du verre, et j'observe d'abord que plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne.

Ainsi supposons que F (*fig.* 61) soit le foyer du verre MM, de sorte que d'un objet éloigné à l'infini devant le verre, ou au haut de la figure, l'image soit représentée en F; alors, en approchant l'objet du verre, et le plaçant successivement en P, Q, R, l'image sera représentée au point *p*, *q*, *r*, plus éloignés du verre que le foyer; ou bien, si AP est la distance de l'objet, B*p* sera la distance de l'image; et si AQ est la distance de l'objet, B*q* sera celle de l'image, et la distance B*r* de l'image répondra à la distance de l'objet AR.

On a une règle par laquelle on peut aisément calculer la distance de l'image derrière le verre, pour chaque distance de l'objet qui est devant le verre : mais je ne veux pas ennuyer V. A. par une exposition sèche de cette règle; il suffira de remarquer en général que plus on diminue la distance de l'objet devant le verre, plus la distance de l'image derrière le verre devient grande. J'ajouterai, outre cela, l'exemple d'un verre convexe dont la distance du foyer est de 6 pouces, ou d'un verre tel, que si la distance de l'objet est infiniment grande, la distance de l'image derrière le verre soit précisément de 6 pouces : maintenant, si l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloignera suivant cette table :

Distance											
de l'objet.....	infini,	42,	24,	18,	15,	12,	10,	9,	8,	7,	6.
de l'image....	6,	7,	8,	9,	10,	12,	15,	18,	24,	42,	infini.

rait sans doute embarrasser les philosophes; mais, dans les mathématiques, il est fort aisé d'y répondre. L'image passera d'une distance infinie à l'autre côté du verre, et par conséquent du même côté où se trouve l'objet; elle paraîtra donc au delà de l'objet. Quelque bizarre que paraisse cette réponse, elle est non-seulement confirmée par le raisonnement, mais aussi par l'expérience; de sorte qu'on ne saurait douter de sa justesse. Croître au delà de l'infini, est la même chose que passer de l'autre côté; ce qui est sans doute véritablement un paradoxe (1).

LETTRE LX.

(26 décembre 1761.)

Sur la grandeur de ces images.

V. A. ne doutera pas actuellement que chaque verre convexe ne représente quelque part une image des objets qui lui sont opposés, et que, dans chaque cas, le lieu de l'image varie autant selon l'éloignement de l'objet que selon la distance du foyer du verre; mais il me reste à expliquer encore un article bien important, qui regarde la grandeur de l'image.

(1) Le paradoxe n'existe que pour les personnes étrangères aux premières notions d'algèbre. Les autres ne sont nullement surprises qu'une grandeur change de signe en passant par l'infini, aussi bien qu'en passant par zéro.

Lorsqu'un tel verre nous représente l'image du soleil ou de la lune, ou d'une étoile à la distance d'un pied, V. A. s'imagine aisément que ces images doivent être incomparablement plus petites que les objets mêmes. Une étoile étant beaucoup plus grande que toute la terre, comment serait-il possible qu'une image aussi grande nous fût représentée à la distance d'un pied? Mais comme l'étoile ne nous paraît que comme un point, l'image qui en est représentée par un verre ressemble aussi à un point, et est par conséquent infiniment plus petite que l'objet même.

Donc, dans chaque représentation faite par les verres, il y a deux choses à considérer : l'une regarde le lieu où l'image est représentée, et l'autre la véritable grandeur de l'image, qui peut être très-différente de celle de l'objet. La première étant déjà suffisamment éclaircie, je m'en vais exposer à V. A. une règle très-simple, par laquelle elle jugera aisément dans chaque cas de quelle grandeur doit être l'image représentée par un verre.

Soit OP (*fig.* 63) un objet quelconque situé sur l'axe du verre convexe MN : d'abord il faut chercher le lieu de l'image, qui soit en J; de sorte que le point J est l'image du bout O de l'objet, puisque les rayons émanés du point O y sont réunis par la réfraction du verre. Voyons maintenant en quel lieu sera représentée l'image de l'autre point P de l'objet; pour cet effet, considérons les rayons PM, PA, PN, qui, partant du point P, tombent sur le verre : j'observe alors que le rayon PA, qui passe

chose que l'image du soleil représentée par le verre. Donc, V. A. ne sera plus surprise de la petitesse de cette image, quoique le soleil soit si excessivement grand, puisque cette image dans le foyer est autant de fois plus petite que le véritable soleil, que la distance du soleil est plus grande que celle de l'image au verre.

6. De là il est aussi clair que plus la distance du foyer d'un verre ardent est grande, plus aussi le cercle est brillant dans le foyer ; c'est-à-dire, l'image du soleil sera grande : et toujours le diamètre du foyer est environ 100 fois plus petit que la distance du foyer au verre.

Dans la suite, j'aurai l'honneur de parler des différents usages qu'on fait des verres convexes, qui sont tous si curieux, qu'ils méritent bien l'attention de V. A.

LETTRE LXI.

(28 décembre 1761.)

Sur les verres ardents.

Le premier usage des verres convexes est celui des verres ardents, dont l'effet doit paraître tout à fait surprenant à ceux mêmes qui ont déjà quelque teinture de la physique. En effet, qui croirait qu'une simple image du soleil soit capable d'exciter un si prodigieux degré de chaleur ? Mais V. A. n'en sera

plus surprise, quand elle voudra bien daigner faire quelque attention aux réflexions suivantes.

1. Soit MN (*fig.* 65) un verre ardent qui reçoit sur sa surface les rayons du soleil R, R, R, lesquels sont rompus de façon qu'ils présentent en F un petit cercle lumineux qui est l'image du soleil, et qui est d'autant plus petit qu'il est proche du verre.

2. Tous les rayons du soleil qui tombent sur la surface du verre sont réunis dans le petit espace du foyer F, et ainsi leur effet y doit être autant de fois plus grand que la surface du verre surpasse la grandeur du foyer ou l'image du soleil. On dit que les rayons qui étaient dispersés par toute la surface du verre sont concentrés dans le petit espace F.

3. Or, les rayons du soleil ont un certain degré de chaleur; il faut donc qu'ils exercent ce pouvoir dans le foyer à un degré fort sensible : on peut même estimer combien de fois ce degré doit surpasser la chaleur naturelle des rayons du soleil : on n'a qu'à voir combien de fois la surface du verre est plus grande que le foyer.

4. Si le verre n'était pas plus grand que le foyer, la chaleur ne surpasserait point la naturelle; d'où il faut conclure que, pour qu'un verre ardent produise un grand effet, il ne suffit pas qu'il soit convexe ou qu'il représente une image du soleil, il faut, en outre, qu'il ait une grande surface qui surpasse plusieurs fois la grandeur du foyer, qui est d'autant plus petit qu'il est proche du verre.

5. Le plus excellent verre ardent se trouve en France; sa largeur est de 3 pieds, et on estime que

sa surface est presque 2 000 fois plus grande que le foyer ou l'image du soleil qu'il représente. Il faut donc qu'il produise dans le foyer une chaleur 2 000 fois plus grande que celle que nous éprouvons étant exposés au soleil. Aussi les effets de ce verre sont prodigieux : au premier instant tout bois est enflammé, les métaux sont fondus en peu de minutes; et, en général, le feu le plus ardent qu'on puisse produire n'est pas à comparer avec la véhémence du foyer de ce verre.

6. On estime que la chaleur (1) de l'eau bouillante est environ trois fois plus grande que celle que nous éprouvons des rayons du soleil pendant l'été, ou, ce qui revient au même, la chaleur de l'eau bouillante est trois fois plus grande que la chaleur naturelle du sang dans le corps humain. Mais pour fondre du plomb il faut une chaleur trois fois plus grande que celle qu'il faut pour faire bouillir de l'eau; et pour fondre du cuivre, il faut une chaleur encore trois fois plus grande. L'or exige encore un plus haut degré de chaleur; il s'ensuit de là qu'une chaleur cent fois plus grande que celle de notre sang est déjà capable de fondre l'or : combien de fois donc une chaleur deux mille fois plus grande ne doit-elle pas surpasser la force de nos feux ordinaires?

7. Mais comment arrive-t-il que les rayons du soleil, réunis dans le foyer d'un verre ardent, y pro-

(1) Pour plus de propriété dans l'expression, il faut dire *température*.

sent ces effets prodigieux? C'est une question n difficile, sur laquelle les philosophes sont fort tagés. Ceux qui soutiennent que les rayons sont : émanation actuelle du soleil, lancée avec cette nde vitesse dont j'ai l'honneur de parler à V. A., sont pas en peine là-dessus : ils n'ont qu'à dire : la matière des rayons, frappant les corps avec lence, en doit briser et détruire tout à fait les indres particules des corps. Mais ce sentiment doit plus avoir lieu dans la saine physique.

}. L'autre sentiment, qui met la nature de la lu- :re dans un ébranlement de l'éther, semble peu ipre à expliquer ces effets surprenants des verres ents. Cependant, si on pèse bien toutes les cir- istances, on sera bientôt convaincu de la possibi- . Quand les rayons naturels du soleil tombent un corps, ils y excitent les moindres particules sa surface à un ébranlement, ou mouvement de ration, qui est à son tour capable d'exciter de iveaux rayons qui nous rendent visible ce même ps. Et un corps n'est illuminé et éclairé qu'autant : ses propres particules sont mises dans un mou- nent de vibration si rapide, qu'il est capable de duire dans l'éther de nouveaux rayons.

). Maintenant, il est clair que si les rayons natu- ; du soleil ont assez de force pour ébranler les indres particules des corps, les rayons rassemblés is le foyer doivent mettre les particules des corps ils y rencontrent dans une si violente agitation, : leur liaison mutuelle est tout à fait rompue, et :orps même entièrement détruit; ce qui est l'effet

du feu. Car, si le corps est combustible comme le bois, la dissolution de ses moindres particules, jointe à la plus rapide agitation, en chasse une bonne partie dans l'air en forme de fumée, et les parties plus grossières restent sous la forme de cendres. Les corps fusibles, comme sont les métaux, deviennent liquides par la dissolution de leurs particules, et c'est de là qu'on peut comprendre comment le feu agit sur les corps : ce n'est que la liaison entre leurs plus petites particules qui en est attaquée, et les particules mêmes ensuite y sont mises dans la plus grande agitation. Voilà donc un effet bien plus frappant que celui des verres ardents, qui tire son origine de la nature des verres convexes : j'aurai l'honneur d'en rapporter encore d'autres merveilles à V. A. (1).

(1) Les connexions entre les phénomènes de chaleur et de lumière sont telles, que l'abandon du système de l'émission pour la lumière doit philosophiquement entraîner celui du système de l'émission pour la chaleur. Mais comme, jusqu'à présent, les phénomènes de chaleur se laissent plus facilement concevoir et expliquer dans le système de l'émission, c'est celui que les physiciens continuent d'employer pour l'exposition didactique de la théorie de la chaleur, sans s'arrêter à l'espèce d'inconséquence que l'on vient de signaler.

LETTRE LXII.

(2 janvier 1762.)

Sur les chambres obscures.

ıprès avoir présenté à V. A. les vœux ardents e je fais au renouvellement de cette année pour conservation, je continue le fil de mon discours.

On fait encore usage des verres convexes dans chambres obscures, où, par le moyen d'un tel re, tous les objets de dehors sont représentés ıs la chambre sur une surface blanche, avec leurs ıleurs naturelles; de manière que toute la con- e y est représentée dans une plus grande perfec- n que ne le pourrait faire un peintre. Aussi les ntres se servent-ils de ce moyen pour dessiner c exactitude les paysages et autres objets qu'on t dans l'éloignement. C'est sur ces chambres ıcures que je me propose d'entretenir V. A.

Cette figure EFGH (*fig.* 66, *pl.* III) représente la ıpe d'une chambre obscure, bien fermée de tou- parts, à l'exception d'un trou rond MN fait dans volet, où l'on fixe un verre convexe d'un foyer , que l'image des objets de dehors, comme par mple de l'arbre OP, tombe exactement sur la raille opposée FG en *op*. On se sert aussi d'une le blanche et mobile, qu'on met dans le lieu images représentées.

Ce n'est donc qu'à travers de ce trou MN, où est

placé le verre, que les rayons de lumière peuvent entrer dans la chambre, sans lequel il y régnerait une obscurité parfaite.

Considérons maintenant le point P de quelque objet, la tige, par exemple, de notre arbre OP. Ses rayons PM, PA, PN tomberont donc sur le verre MN et en seront réfractés; en sorte qu'ils se réunissent de nouveau au point *p* sur la muraille, ou sur une table blanche mise expressément dans cet endroit. Ce point *p* ne recevra par conséquent d'autres rayons que ceux qui viennent du point P; de même, tout autre point de la table ne recevra que les rayons qui sont partis du point de l'objet qui y répond; et réciproquement à chaque point de l'objet du dehors répondra un point sur la table qui en reçoit uniquement les rayons. Si l'on ôtait le verre du trou MN, la table serait tout autrement éclairée, puisque alors chaque point de l'objet répandrait ses rayons par toute la table; de sorte que chaque point de la table serait éclairé à la fois par tous les objets du dehors, au lieu qu'actuellement il n'est éclairé que par un seul point de l'objet dont il reçoit les rayons : d'où V. A. comprendra aisément que l'effet en doit être tout à fait différent, que si les rayons entraient simplement par le trou MN dans la chambre.

Voyons de plus près en quoi consiste cette différence, et supposons d'abord que le point P de l'objet soit vert : le point *p* de la table ne recevra donc que ces rayons verts de l'objet P, et qui en se réunissant feront une certaine impression qu'il s'agira

ıaminer ici. Pour cet effet V. A. voudra bien se ouvenir des propositions suivantes, que j'ai eu ınneur de lui expliquer autrefois :

. Les diverses couleurs diffèrent entre elles de nême manière que les différents tons de la mu- ıe : chaque couleur est produite par un certain nbre déterminé de vibrations qui, dans un temps ıné, sont excitées dans l'éther. Ainsi la couleur te de notre point P est appropriée à un certain nbre de vibrations; et elle ne serait plus verte, si vibrations étaient plus ou moins rapides. Quoique s ne connaissions pas le nombre de vibrations qui duisent telle ou telle couleur, il nous sera tou- s permis de supposer ici que la couleur verte e 12 000 vibrations par seconde; et ce que nous ons de ce nombre de 12 000 s'entendra aussi ai- ent du nombre véritable, quel qu'il soit (1).

. Cela posé, le point *p* sur la table blanche sera pé par un mouvement de vibration, dont 12 000 hèvent dans une seconde. Or, j'ai remarqué que particules d'une surface blanche sont toutes de ıre à recevoir toutes sortes d'ébranlements plus moins rapides; au lieu que les particules d'une ace colorée ne sont propres qu'à recevoir ce ne degré de rapidité qui convient à leur couleur. ıc, puisque notre table est blanche, le point *p* y excité à un mouvement de vibration convena- à la couleur verte, ou bien il sera agité 12 000 par seconde.

) *Voyez* la note sur la lettre III, p. 87.

3. Ensuite, tant que le point *p*, ou la particule de la surface blanche qui se trouve en *p* est agitée d'un semblable mouvement, elle communiquera le même mouvement aux particules de l'éther qui l'environnent; et ce mouvement, se répandant en tout sens, engendrera des rayons de la même nature, c'est-à-dire des rayons verts; de même que, dans les sons, le seul bruit d'un certain ton C, par exemple, ébranle une corde tendue au même ton, et lui fait rendre du son, sans qu'elle soit touchée.

4. Le point *p* de la table blanche produira donc des rayons verts, de même que s'il était teint de cette couleur; et ce que j'ai fait voir ici du point *p* aura pareillement lieu pour tous les autres points de la table éclairée, qui tous produiront des rayons, et chacun de la même couleur qu'est celle de l'objet dont il représente l'image. Chaque point de la table deviendra donc visible sous une certaine couleur, de la même manière que s'il en était actuellement teint.

5. On apercevra donc sur la table toutes les couleurs des objets de dehors, dont les rayons entreront dans la chambre par le verre : chaque point en particulier paraîtra de la même couleur dont est l'objet qui lui répond, et ainsi on verra sur la table un amas de plusieurs couleurs, disposées dans le même ordre qu'on les voit sur les objets mêmes, c'est-à-dire une peinture, ou plutôt un parfait tableau qui représente au naturel tous les objets qui se trouvent hors de la chambre obscure devant le verre MN.

6. Tous ces objets paraîtront cependant renversés sur la table, comme V. A. le jugera aisément par ce que j'ai dit dans mes lettres précédentes. Le pied de l'arbre O sera représenté en *o*, et la tige P en *p* : car en général chaque objet doit sur la table blanche être représenté dans l'endroit où parvient la ligne droite tirée de l'objet P par le milieu du verre A ; ce qui est en haut sera par conséquent représenté en bas, et ce qui est à gauche sera à la droite ; en un mot, tout sera renversé sur le tableau. Nonobstant cela, la représentation sera plus exacte et plus parfaite que ne la pourrait rendre le plus habile peintre.

7. V. A. remarquera au reste que cette peinture sera autant de fois plus petite que les objets mêmes, que le foyer du verre sera plus court. Ainsi les verres d'un foyer court rendront les objets en petit ; et si l'on souhaite que les objets soient rendus en grand, il faut employer des verres d'un plus long foyer, ou qui représentent les images à une plus grande distance.

8. Pour contempler plus à son aise ces représentations, on intercepte les rayons par un miroir d'où ils sont *réfractés* (1), en sorte qu'ils représentent toute la peinture sur une table horizontale ; ce qui est surtout d'une grande commodité, lorsqu'on veut copier ce qu'on y voit représenté.

(1) Lisez *réfléchis*. Cette faute se trouve dans les anciennes éditions.

LETTRE LXIII.

(5 janvier 1762.)

Réflexions sur la représentation faite dans les chambres obscures.

Quoique V. A. n'ait plus aucun doute sur les représentations qui se font dans une chambre obscure par le moyen d'un verre convexe, j'espère que les réflexions suivantes ne seront point superflues, servant à mettre cette matière dans un plus grand jour.

1. Il faut premièrement que la chambre soit parfaitement obscure; car si elle était éclairée, la table blanche serait visible d'elle-même, et les particules de sa surface étant déjà ébranlées ne pourraient plus recevoir l'impression des rayons qui se réuniraient pour former les images des objets qui sont hors de la chambre. Cependant, pourvu que la chambre soit peu éclairée, on apercevra toujours sur la table quelque chose de la représentation, quoiqu'elle ne soit pas si vive que si la chambre était entièrement obscure.

2. En second lieu, il faut bien distinguer la peinture exprimée sur la table blanche, de l'image que le verre représente par sa propre nature, comme je l'ai exposé ci-dessus. Il est bien vrai que, plaçant la table dans le lieu même où l'image des objets est formée par le verre, cette image se confondra avec

peinture qu'on aperçoit sur la table; mais toute·
s ces deux choses sont d'une nature tout à fait
férente : l'image n'est qu'un spectre ou une om-
e voltigeant dans l'air, qui n'est visible qu'en
tains endroits, tandis que la représentation est
vrai tableau que tous ceux qui sont dans la
ambre peuvent voir, et auquel il ne manque que
lurée.

3. Pour mieux éclaircir cette différence, on n'a
à bien considérer la nature de l'image *o*, qui est
résentée dans la *fig.* 67, par le verre convexe
I, l'objet étant en O. Cette image n'est autre chose
e le lieu où les rayons OM, OC, ON de l'objet,
ès avoir traversé le verre, se réunissent par la
raction, et continuent ensuite leur route de la
me manière que s'ils venaient du point *o*, quoi-
ils prennent naissance en O, et point du tout en *o*.

4. Cette circonstance fait que l'image *o* n'est vi-
le qu'aux yeux qui se trouvent quelque part en-
l'angle R*o*Q, comme en S, où un œil recevra ef-
tivement des rayons qui lui viennent du point *o*.
s un œil placé hors de cet angle, comme en F ou
V, n'en verra rien du tout, puisque aucun des
ons réunis en *o* n'y est dirigé : ainsi l'image en *o*
ère bien essentiellement d'un objet réel; elle
st visible qu'en certains endroits, et ressemble
cela à ce qu'on nous raconte des spectres.

. Mais si l'on place en *o* une table blanche, et
sa surface en ce point *o* soit réellement excitée
n ébranlement semblable à celui qui règne
ne dans l'objet O, alors cet endroit *o* de la

surface engendre lui-même des rayons qui le rendent visible partout. Voilà donc la différence entre l'image d'un objet et sa représentation, faite dans une chambre obscure : l'image n'est visible qu'en certains endroits; savoir, dans les endroits par où passent les rayons qui viennent originairement de l'objet; au lieu que la peinture ou la représentation formée sur la table blanche est vue par ses propres rayons, excités par le trémoussement des particules de sa surface, et est par conséquent vue partout dans la chambre obscure.

6. On voit aussi qu'il est absolument nécessaire de mettre la table blanche exactement dans le lieu de l'image formée par le verre, afin que chaque point de la table ne reçoive d'autres rayons que ceux qui viennent d'un seul point de l'objet : car si d'autres rayons y tombaient aussi, ils troubleraient l'effet de ceux-là, ou rendraient au moins la représentation confuse.

7. Si l'on ôtait le verre tout à fait, et que les rayons trouvassent une entrée libre dans la chambre obscure, la table blanche en serait éclairée à l'ordinaire, sans qu'on y vît la moindre peinture : sur chaque point de la table tomberaient les rayons des différents objets, et n'y exprimeraient aucune image déterminée. Ainsi la peinture qu'on voit dans une chambre obscure sur une surface blanche est l'effet du verre convexe fixé au volet; c'est lui qui réunit de nouveau, dans un seul point, tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet.

8. Cependant on observe ici un phénomène bien

singulier, lorsque le trou fait au volet de la chambre obscure est très-petit : quoiqu'alors il n'y ait point de verre, on aperçoit cependant sur la muraille opposée les images des objets qui sont dehors, et même avec leurs couleurs naturelles : mais cette représentation est très-faible et confuse, et dès qu'on élargit le trou davantage, tout ce spectacle disparaît entièrement. Je me vois obligé d'expliquer la cause de ce phénomène.

Dans la *fig.* 68, MN est la petite ouverture par laquelle les rayons des objets de dehors entrent dans la chambre obscure EFGH. La muraille FH vis-à-vis du trou est blanche, pour mieux recevoir l'impression de toutes sortes de rayons.

Que le point O marque un objet dont il n'y a que les rayons OM, ON, avec ceux qui se trouvent entre eux, qui peuvent entrer dans la chambre : ces rayons tomberont sur le petit espace *oo* de la muraille, et l'éclaireront; cet espace *oo* sera d'autant plus petit, ou approchera d'autant plus d'un point, que le trou MN sera petit; si donc ce trou était très-petit, nous aurions l'effet précédent où chaque point de la table blanche ne reçoit que les rayons d'un seul point de l'objet; il s'y ferait par conséquent une représentation semblable à celle que produit le verre convexe placé dans le trou du volet. Mais, dans le cas présent, le trou ayant une certaine étendue, quelque petit qu'il soit, chaque point O de l'objet éclairera un certain petit espace *oo* sur la muraille, et l'ébranlera par ses rayons. Il arrivera donc à peu près la même chose que si un peintre, au lieu de

Pour cet effet, j'ai pratiqué dans cette caisse deux ailes à côté, pour y placer quelques lampes à grosses mèches; et outre cela j'ai mis dans chaque aile un miroir qui réfléchit la lumière des lampes sur les objets OP; enfin en haut EF est une cheminée par où sort la fumée des lampes. Telle est la construction de cette machine, au dedans de laquelle l'objet OP peut recevoir une très-forte illumination, sans que l'obscurité de la chambre en soit diminuée. Pour l'usage de cette machine, il faut remarquer les articles suivants :

I. Si l'on enfonce le tuyau MNQR, ou si l'on approche le verre MN de l'objet OP, alors l'image *op* s'éloignera, et ainsi il faut reculer la table blanche pour y recevoir l'image; dans ce cas, l'image deviendra aussi plus grande, et de cette manière on peut même grossir l'image autant qu'on veut, en approchant davantage le verre MN de l'objet OP.

II. Quand on éloigne le verre de l'objet, en allongeant le tuyau MNQR, la distance de l'image deviendra plus petite, et il faut approcher du verre la table blanche, pour avoir une représentation nette et distincte; mais elle deviendra dans ce cas plus petite.

III. Il est aussi clair que l'image sera toujours renversée; mais il est aisé de remédier à cet inconvénient : on n'a qu'à renverser l'objet OP même, en tournant le haut en bas, et alors l'image sera représentée debout sur la table blanche.

IV. C'est encore une remarque générale, que plus on grossit l'image sur la table blanche, moins elle

aura de lumière et deviendra plus obscure ; au lieu que si l'on fait l'image petite, elle devient plus lumineuse et plus brillante. La raison en est évidente, toute la clarté provient de l'illumination de l'objet; donc, plus elle est répandue dans un grand espace, plus elle doit être affaiblie; mais étant réduite dans un moindre espace, elle sera plus vive et plus brillante.

V. Donc, plus on veut grossir la représentation, plus on doit renforcer l'illumination de l'objet, en allumant plus de lampes dans les ailes de la machine, ou en rendant leur flamme plus forte : or, pour de petites représentations, une illumination médiocre est suffisante.

Cette machine, dont je viens de donner la description, est nommée une *lanterne magique*, pour la distinguer d'une chambre obscure ordinaire dont on se sert pour représenter les objets fort éloignés : la figure a sans doute occasionné le nom de lanterne, surtout puisqu'on y enferme des lumières; mais l'épithète de *magique* vient de ce que les premiers possesseurs ont voulu persuader au peuple qu'il s'y mêlait quelque magie ou sortilége. Cependant, les lanternes magiques ordinaires ne sont point construites de cette façon, et on ne représente par elles d'autres objets que des figures peintes sur du verre; au lieu que cette machine, dont j'ai imaginé la construction, peut être appliquée à toutes sortes d'objets.

On peut même s'en servir pour représenter les plus petits objets et les grossir prodigieusement, de sorte que la plus petite mouche paraîtra aussi

grande qu'un éléphant; mais alors la clarté produite par des lampes ne suffit pas, il faut disposer la machine en sorte que les objets puissent être éclairés par les rayons du soleil, renforcés par un verre ardent : alors la machine change encore de nom, et est appelée un *microscope solaire*, dont j'aurai occasion de parler plus amplement dans la suite.

LETTRE LXV.

(12 janvier 1762.)

Sur l'usage et l'effet d'un verre convexe simple, lorsqu'on regarde immédiatement à travers.

On se sert aussi de verres convexes pour regarder immédiatement à travers; mais, pour en expliquer les différents usages, il faut pousser plus loin nos recherches sur leur nature.

Ayant observé la distance du foyer d'un tel verre, j'ai déjà remarqué que lorsque l'objet en est fort éloigné, son image est représentée dans le foyer même; mais si l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloigne de plus en plus; de sorte que si la distance de l'objet est égale à la distance du foyer du verre, l'image s'en éloigne à l'infini, et devient par conséquent infiniment grande.

La raison en est que les rayons OM, OM (*fig.* 70), qui tombent du point O sur le verre, sont rompus par le verre, en sorte qu'ils deviennent parallèles

re eux comme NF et NF : et comme des lignes allèles sont censées courir à l'infini, et que l'i-ge est toujours où les rayons qui sont sortis d'un nt de l'objet se réunissent de nouveau après la action; dans le cas où la distance de l'objet OA égale à la distance de foyer du verre, le lieu de age s'éloigne à l'infini; et puisqu'il est indifférent on conçoive que les lignes parallèles NF et NF courent à l'infini vers la gauche, ou qu'elles con-irent vers la droite, on peut dire également que age se trouve, tant à droite qu'à gauche, dans un ignement infini, l'effet en étant toujours le même.

Cela remarqué, V. A. jugera aisément en quel lieu age doit se trouver, lorsqu'on approche l'objet antage du verre.

Soit OP (*fig.* 71) l'objet; et puisque sa distance . du verre convexe est moindre que sa distance foyer, les rayons OM, OM qui y tombent du int O sont trop divergents pour que la force ré-ctive du verre les puisse rendre parallèles entre : ils demeureront donc encore, après la réfrac-n, divergents, comme le marquent les lignes NF NF, mais beaucoup moins qu'auparavant; et con-quemment en prolongeant ces lignes en arrière, es concourront quelque part en *o*, comme V. A. peut voir dans les lignes ponctuées N*o* et N*o*. Par équent, les rayons NF et NF, après avoir passé r le verre, tiennent la même route que s'ils ve-ient du point *o*, quoiqu'ils n'aient pas passé par point, puisque ce n'est que dans le verre qu'ils it pris cette nouvelle route. Un œil donc qui re-

çoit ces rayons réfractés NF, NF, sera également affecté que si ces rayons venaient effectivement du point *o*, et par conséquent s'imaginera que l'objet de sa vision existe en *o*. Toutefois, il n'y aura point d'image comme dans le cas précédent : on aurait beau mettre en *o* une table blanche, il ne s'y représenterait aucun tableau, faute de rayons; c'est pourquoi on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'est-à-dire, une image qui n'est point réelle, le mot *imaginaire* étant opposé à celui de *réel*.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impression que si l'objet OP, dont les rayons sont sortis originairement, existait en *o*. Il est donc très-important de connaître, tout comme dans les cas précédents, tant le lieu que la grandeur de cette image imaginaire *op*. Pour le lieu, il suffit de remarquer que si la distance de l'objet AO était égale à la distance du foyer du verre, l'image en serait éloignée à l'infini, et c'est ce que ce cas a de commun avec le cas précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la distance AO devient plus petite que la distance du foyer du verre, plus aussi l'image imaginaire s'approche du verre, de sorte pourtant qu'elle reste toujours plus éloignée du verre que l'objet même.

Pour éclaircir la chose par un exemple, supposons que la distance de foyer du verre soit de six pouces; et pour les différents éloignements de l'objet, la table ci-jointe nous marque la distance de l'image imaginaire *op*.

Distance						
de l'objet AO.....	6,	5,	4,	3,	2,	1.
de l'image A*o*.....	infini,	30,	12,	6,	3,	$1\frac{1}{2}$.

Pour la grandeur de cette image imaginaire *op*, la règle de la trouver est aisée et générale: on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué par la lettre C), et par l'extrémité de l'objet P, la ligne droite CP*p*, et où elle rencontre la ligne *op* tirée perpendiculairement en *o* à l'axe du verre, elle donnera la grandeur de l'image imaginaire *op;* d'où l'on voit que cette image est toujours plus grande que l'objet même OP, et cela autant de fois qu'elle est plus éloignée du verre que l'objet OP. Ensuite on voit aussi que cette image n'est pas renversée comme dans le cas précédent, mais qu'elle est debout de même que l'objet.

De là V. A. comprend quel usage peuvent tirer de ces verres les personnes dont la vue n'est pas bonne pour regarder les objets de près, et qui les voient mieux dans un grand éloignement. Ces personnes n'ont qu'à regarder ces objets par des verres convexes, et ils les verront comme s'ils étaient fort éloignés. Ce défaut de ne pas bien voir les objets qui sont près de nous se trouve ordinairement chez les vieillards, qui se servent aussi pour cette raison de lunettes qui contiennent deux verres convexes, et qui, étant exposés au soleil, brûlent aussi bien qu'un verre ardent, ce qui fait connaître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer est fort court; d'autres se servent de lunettes d'un foyer

çoit ces rayons réfractés NF, NF, sera également affecté que si ces rayons venaient effectivement du point *o*, et par conséquent s'imaginera que l'objet de sa vision existe en *o*. Toutefois, il n'y aura point d'image comme dans le cas précédent : on aurait beau mettre en *o* une table blanche, il ne s'y représenterait aucun tableau, faute de rayons; c'est pourquoi on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'est-à-dire, une image qui n'est point réelle, le mot *imaginaire* étant opposé à celui de *réel*.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impression que si l'objet OP, dont les rayons sont sortis originairement, existait en *o*. Il est donc très-important de connaître, tout comme dans les cas précédents, tant le lieu que la grandeur de cette image imaginaire *op*. Pour le lieu, il suffit de remarquer que si la distance de l'objet AO était égale à la distance du foyer du verre, l'image en serait éloignée à l'infini, et c'est ce que ce cas a de commun avec le cas précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la distance AO devient plus petite que la distance du foyer du verre, plus aussi l'image imaginaire s'approche du verre, de sorte pourtant qu'elle reste toujours plus éloignée du verre que l'objet même.

Pour éclaircir la chose par un exemple, supposons que la distance de foyer du verre soit de six pouces; et pour les différents éloignements de l'objet, la table ci-jointe nous marque la distance de l'image imaginaire *op*.



Distance	de l'objet AO.....	6,	5,	4,	3,	2,	1.
	de l'image A*o*.....	infini,	30,	12,	6,	3,	1 $\frac{1}{2}$.

Pour la grandeur de cette image imaginaire *op*, la règle de la trouver est aisée et générale: on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué par la lettre C), et par l'extrémité de l'objet P, la ligne droite CP*p*, et où elle rencontre la ligne *op* tirée perpendiculairement en *o* à l'axe du verre, elle donnera la grandeur de l'image imaginaire *op*; d'où l'on voit que cette image est toujours plus grande que l'objet même OP, et cela autant de fois qu'elle est plus éloignée du verre que l'objet OP. Ensuite on voit aussi que cette image n'est pas renversée comme dans le cas précédent, mais qu'elle est debout de même que l'objet.

De là V. A. comprend quel usage peuvent tirer de ces verres les personnes dont la vue n'est pas bonne pour regarder les objets de près, et qui les voient mieux dans un grand éloignement. Ces personnes n'ont qu'à regarder ces objets par des verres convexes, et ils les verront comme s'ils étaient fort éloignés. Ce défaut de ne pas bien voir les objets qui sont près de nous se trouve ordinairement chez les vieillards, qui se servent aussi pour cette raison de lunettes qui contiennent deux verres convexes, et qui, étant exposés au soleil, brûlent aussi bien qu'un verre ardent, ce qui fait connaître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer est fort court; d'autres se servent de lunettes d'un foyer

çoit ces rayons réfractés NF, NF, sera également affecté que si ces rayons venaient effectivement du point *o*, et par conséquent s'imaginera que l'objet de sa vision existe en *o*. Toutefois, il n'y aura point d'image comme dans le cas précédent : on aurait beau mettre en *o* une table blanche, il ne s'y représenterait aucun tableau, faute de rayons; c'est pourquoi on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'est-à-dire, une image qui n'est point réelle, le mot *imaginaire* étant opposé à celui de *réel*.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impression que si l'objet OP, dont les rayons sont sortis originairement, existait en *o*. Il est donc très-important de connaître, tout comme dans les cas précédents, tant le lieu que la grandeur de cette image imaginaire *op*. Pour le lieu, il suffit de remarquer que si la distance de l'objet AO était égale à la distance du foyer du verre, l'image en serait éloignée à l'infini, et c'est ce que ce cas a de commun avec le cas précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la distance AO devient plus petite que la distance du foyer du verre, plus aussi l'image imaginaire s'approche du verre, de sorte pourtant qu'elle reste toujours plus éloignée du verre que l'objet même.

Pour éclaircir la chose par un exemple, supposons que la distance de foyer du verre soit de six pouces; et pour les différents éloignements de l'objet, la table ci-jointe nous marque la distance de l'image imaginaire *op*.

Distance							
	de l'objet AO.....	6,	5,	4,	3,	2,	1.
	de l'image A*o*.....	infini,	30,	12,	6,	3,	1 $\frac{1}{5}$.

Pour la grandeur de cette image imaginaire *op*, la règle de la trouver est aisée et générale : on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué par la lettre C), et par l'extrémité de l'objet P, la ligne droite CP*p*, et où elle rencontre la ligne *op* tirée perpendiculairement en *o* à l'axe du verre, elle donnera la grandeur de l'image imaginaire *op* ; d'où l'on voit que cette image est toujours plus grande que l'objet même OP, et cela autant de fois qu'elle est plus éloignée du verre que l'objet OP. Ensuite on voit aussi que cette image n'est pas renversée comme dans le cas précédent, mais qu'elle est debout de même que l'objet.

De là V. A. comprend quel usage peuvent tirer de ces verres les personnes dont la vue n'est pas bonne pour regarder les objets de près, et qui les voient mieux dans un grand éloignement. Ces personnes n'ont qu'à regarder ces objets par des verres convexes, et ils les verront comme s'ils étaient fort éloignés. Ce défaut de ne pas bien voir les objets qui sont près de nous se trouve ordinairement chez les vieillards, qui se servent aussi pour cette raison de lunettes qui contiennent deux verres convexes, et qui, étant exposés au soleil, brûlent aussi bien qu'un verre ardent, ce qui fait connaître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer est fort court ; d'autres se servent de lunettes d'un foyer

plus grand, selon la portée de leur vue : mais il me suffit pour le présent d'avoir expliqué l'usage de ces lunettes en général.

LETTRE LXVI.

(16 janvier 1762.)

Sur l'usage et l'effet d'un verre concave, lorsqu'on regarde immédiatement à travers.

V. A. vient de voir comment les verres convexes soulagent la vue des vieillards, en leur représentant les objets plus loin qu'ils sont effectivement ; mais il y a aussi des yeux qui demandent, pour voir distinctement les objets, qu'ils soient représentés plus près, et ce sont les verres concaves qui leur rendent ce service : ceci me conduit à l'explication de l'effet des verres concaves, qui est directement contraire à celui des verres convexes.

Lorsque l'objet OP (*fig.* 72) est fort éloigné, et que ses rayons OM, OM tombent presque parallèles sur le verre concave TV, alors, au lieu de devenir convergents par la réfraction du verre, ils deviennent au contraire plus divergents, en suivant les routes NF, NF, qui, étant prolongées en arrière, concourent dans le point *o*; de sorte qu'un œil placé par exemple en E, reçoit ces rayons réfractés de la même manière que s'ils partaient du point *o*, quoique effectivement ils viennent du point O; et c'est par cette raison que j'ai dans la figure ponctué les lignes droites N*o*, N*o*.

Comme l'objet est supposé être infiniment éloigné, si le verre était convexe, le point o serait ce qu'on nomme foyer; mais puisqu'ici il n'arrive aucune concurrence réelle de rayons, on nomme alors ce point le foyer imaginaire du verre concave; quelques auteurs le nomment aussi le point de dispersion, puisque les rayons réfractés par le verre semblent être dispersés de ce point.

Les verres concaves n'ont donc point un vrai foyer comme les convexes, mais seulement un foyer imaginaire, dont la distance au verre Ao est cependant aussi nommée la distance du foyer de ce verre, et sert, par le moyen d'une règle semblable à celle qu'on donne pour les verres convexes, à déterminer le lieu de l'image, lorsque l'objet n'est pas infiniment éloigné. Or, cette image est toujours imaginaire; au lieu que, pour les verres convexes, elle ne devient imaginaire que lorsque l'objet est plus proche que la distance du foyer. Sans entrer dans l'explication de cette règle, qui regarde uniquement le calcul, il suffit de remarquer :

I. Que lorsque l'objet OP est infiniment éloigné, l'image imaginaire op est représentée à la distance de foyer du verre concave, et cela vers le même côté que se trouve l'objet. Cependant, quoique cette image soit imaginaire, l'œil placé en E est tout aussi bien affecté que si elle était réelle, comme j'ai eu l'honneur de le dire à V. A. au sujet des verres convexes, où l'objet est plus proche du verre que sa distance du foyer.

II. Lorsqu'on approche davantage du verre l'ob-

jet OP, son image *op* s'approchera aussi davantage du verre, mais de sorte que l'image sera toujours plus proche du verre que l'objet; au lieu que, pour les verres convexes, l'image en est plus éloignée que l'objet. Pour mieux éclaircir cela, supposons que la distance de foyer du verre concave soit de six pouces. Si la distance de l'objet OA est

infinie, 30, 12, 6, 3, 2,

la distance de l'image *o*A sera

6, 5, 4, 3, 2, $1\frac{1}{2}$.

III. Pour la grandeur de l'image imaginaire *op*, on la détermine toujours par la même règle. On tire du milieu du verre une ligne droite à l'extrémité de l'objet P, qui passera alors par l'extrémité *p* de l'image : car, puisque la ligne PA représente un rayon qui vient de l'extrémité de l'objet, il faut que ce même rayon, après la réfraction, passe par l'extrémité de l'image; mais ce rayon PA, puisqu'il passe par le milieu du verre, ne souffre aucune réfraction; donc, il faut qu'il passe lui-même par l'extrémité de l'image, qui sera en *p*.

IV. Cette image n'est pas renversée, mais dans un sens naturel comme l'objet; et on peut observer cette règle générale, que, toutes les fois que l'image tombe du même côté du verre où est l'objet, l'image est toujours représentée debout, soit que le verre soit convexe ou concave; mais quand l'image est représentée de l'autre côté du verre, alors l'image est renversée; or, ce cas ne saurait avoir lieu que dans les verres convexes.

V. De là il est clair que les images représentées : les verres concaves sont toujours plus petites e les objets : et la raison en est évidente, puisque images sont plus proches que les objets; on n'a à regarder la figure pour s'assurer de cette vé-:. Ce sont les propriétés principales qu'il est bon remarquer sur la nature des verres concaves, et manière dont ils représentent les objets.

Maintenant il est aisé de comprendre comment verres concaves rendent de grands services à ıx qui ont une vue courte. V. A. connaît bien personnes qui ne sauraient lire ou écrire, à ins qu'elles ne touchent presque le papier de r nez. Afin donc que ces gens voient distincte-nt, il faut qu'ils approchent les objets de leurs ıx, et je crois avoir déjà remarqué qu'on leur nne le nom de *myopes* : à ceux-ci les verres con-es seront d'un excellent usage, car ils leur re-sentent les objets les plus éloignés comme étant t près : les images n'étant plus éloignées de ces res que de leur distance de foyer, qui, pour la part, ne surpasse pas quelques pouces.

l est bien vrai que ces images sont aussi beau-ıp plus petites que les objets mêmes; mais cela pporte aucun obstacle à la vision distincte. Une ite chose de près nous peut paraître plus grande un très-grand corps lorsqu'il est fort éloigné. En t, une pièce de *deux dreyer* (1) paraîtra à V. A.

) Petite monnaie d'argent, qui est la quarante-huitième ie d'un écu, et un peu plus grande que la prunelle de l'œil. (*Note des anciennes éditions.*)

Pour cet effet, j'ai pratiqué dans cette caisse deux ailes à côté, pour y placer quelques lampes à grosses mèches; et outre cela j'ai mis dans chaque aile un miroir qui réfléchit la lumière des lampes sur les objets OP; enfin en haut EF est une cheminée par où sort la fumée des lampes. Telle est la construction de cette machine, au dedans de laquelle l'objet OP peut recevoir une très-forte illumination, sans que l'obscurité de la chambre en soit diminuée. Pour l'usage de cette machine, il faut remarquer les articles suivants :

I. Si l'on enfonce le tuyau MNQR, ou si l'on approche le verre MN de l'objet OP, alors l'image *op* s'éloignera, et ainsi il faut reculer la table blanche pour y recevoir l'image; dans ce cas, l'image deviendra aussi plus grande, et de cette manière on peut même grossir l'image autant qu'on veut, en approchant davantage le verre MN de l'objet OP.

II. Quand on éloigne le verre de l'objet, en allongeant le tuyau MNQR, la distance de l'image deviendra plus petite, et il faut approcher du verre la table blanche, pour avoir une représentation nette et distincte; mais elle deviendra dans ce cas plus petite.

III. Il est aussi clair que l'image sera toujours renversée; mais il est aisé de remédier à cet inconvénient : on n'a qu'à renverser l'objet OP même, en tournant le haut en bas, et alors l'image sera représentée debout sur la table blanche.

IV. C'est encore une remarque générale, que plus on grossit l'image sur la table blanche, moins elle

aura de lumière et deviendra plus obscure ; au lieu que si l'on fait l'image petite, elle devient plus lumineuse et plus brillante. La raison en est évidente, toute la clarté provient de l'illumination de l'objet ; donc, plus elle est répandue dans un grand espace, plus elle doit être affaiblie ; mais étant réduite dans un moindre espace, elle sera plus vive et plus brillante.

V. Donc, plus on veut grossir la représentation, plus on doit renforcer l'illumination de l'objet, en allumant plus de lampes dans les ailes de la machine, ou en rendant leur flamme plus forte : or, pour de petites représentations, une illumination médiocre est suffisante.

Cette machine, dont je viens de donner la description, est nommée une *lanterne magique*, pour la distinguer d'une chambre obscure ordinaire dont on se sert pour représenter les objets fort éloignés : la figure a sans doute occasionné le nom de lanterne, surtout puisqu'on y enferme des lumières ; mais l'épithète de *magique* vient de ce que les premiers possesseurs ont voulu persuader au peuple qu'il s'y mêlait quelque magie ou sortilége. Cependant, les lanternes magiques ordinaires ne sont point construites de cette façon, et on ne représente par elles d'autres objets que des figures peintes sur du verre ; au lieu que cette machine, dont j'ai imaginé la construction, peut être appliquée à toutes sortes d'objets.

On peut même s'en servir pour représenter les plus petits objets et les grossir prodigieusement, de sorte que la plus petite mouche paraîtra aussi

grande qu'un éléphant; mais alors la clarté produite par des lampes ne suffit pas, il faut disposer la machine en sorte que les objets puissent être éclairés par les rayons du soleil, renforcés par un verre ardent : alors la machine change encore de nom, et est appelée un *microscope solaire*, dont j'aurai occasion de parler plus amplement dans la suite.

LETTRE LXV.

(12 janvier 1762.)

Sur l'usage et l'effet d'un verre convexe simple, lorsqu'on regarde immédiatement à travers.

On se sert aussi de verres convexes pour regarder immédiatement à travers; mais, pour en expliquer les différents usages, il faut pousser plus loin nos recherches sur leur nature.

Ayant observé la distance du foyer d'un tel verre, j'ai déjà remarqué que lorsque l'objet en est fort éloigné, son image est représentée dans le foyer même; mais si l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloigne de plus en plus; de sorte que si la distance de l'objet est égale à la distance du foyer du verre, l'image s'en éloigne à l'infini, et devient par conséquent infiniment grande.

La raison en est que les rayons OM, OM (*fig.* 70), qui tombent du point O sur le verre, sont rompus par le verre, en sorte qu'ils deviennent parallèles

tre eux comme NF et NF : et comme des lignes rallèles sont censées courir à l'infini, et que l'i-age est toujours où les rayons qui sont sortis d'un int de l'objet se réunissent de nouveau après la fraction; dans le cas où la distance de l'objet OA t égale à la distance de foyer du verre, le lieu de mage s'éloigne à l'infini; et puisqu'il est indifférent l'on conçoive que les lignes parallèles NF et NF ncourent à l'infini vers la gauche, ou qu'elles con-urent vers la droite, on peut dire également que mage se trouve, tant à droite qu'à gauche, dans un oignement infini, l'effet en étant toujours le même.

Cela remarqué, V. A. jugera aisément en quel lieu mage doit se trouver, lorsqu'on approche l'objet avantage du verre.

Soit OP (*fig.* 71) l'objet; et puisque sa distance A du verre convexe est moindre que sa distance u foyer, les rayons OM, OM qui y tombent du oint O sont trop divergents pour que la force ré-active du verre les puisse rendre parallèles entre ux : ils demeureront donc encore, après la réfrac-on, divergents, comme le marquent les lignes NF t NF, mais beaucoup moins qu'auparavant; et con-équemment en prolongeant ces lignes en arrière, lles concourront quelque part en *o*, comme V. A. peut voir dans les lignes ponctuées N*o* et N*o*. Par onséquent, les rayons NF et NF, après avoir passé ar le verre, tiennent la même route que s'ils ve-aient du point *o*, quoiqu'ils n'aient pas passé par e point, puisque ce n'est que dans le verre qu'ils nt pris cette nouvelle route. Un œil donc qui re-

çoit ces rayons réfractés NF, NF, sera également affecté que si ces rayons venaient effectivement du point *o*, et par conséquent s'imaginera que l'objet de sa vision existe en *o*. Toutefois, il n'y aura point d'image comme dans le cas précédent : on aurait beau mettre en *o* une table blanche, il ne s'y représenterait aucun tableau, faute de rayons; c'est pourquoi on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'est-à-dire, une image qui n'est point réelle, le mot *imaginaire* étant opposé à celui de *réel*.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impression que si l'objet OP, dont les rayons sont sortis originairement, existait en *o*. Il est donc très-important de connaître, tout comme dans les cas précédents, tant le lieu que la grandeur de cette image imaginaire *op*. Pour le lieu, il suffit de remarquer que si la distance de l'objet AO était égale à la distance du foyer du verre, l'image en serait éloignée à l'infini, et c'est ce que ce cas a de commun avec le cas précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la distance AO devient plus petite que la distance du foyer du verre, plus aussi l'image imaginaire s'approche du verre, de sorte pourtant qu'elle reste toujours plus éloignée du verre que l'objet même.

Pour éclaircir la chose par un exemple, supposons que la distance de foyer du verre soit de six pouces; et pour les différents éloignements de l'objet, la table ci-jointe nous marque la distance de l'image imaginaire *op*.

Distance	de l'objet AO.....	6,	5,	4,	3,	2,	1.
	de l'image A*o*.....	infini,	30,	12,	6,	3,	1 ½.

Pour la grandeur de cette image imaginaire *op*, la règle de la trouver est aisée et générale : on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué par la lettre C), et par l'extrémité de l'objet P, la ligne droite CP*p*, et où elle rencontre la ligne *op* tirée perpendiculairement en *o* à l'axe du verre, elle donnera la grandeur de l'image imaginaire *op* ; d'où l'on voit que cette image est toujours plus grande que l'objet même OP, et cela autant de fois qu'elle est plus éloignée du verre que l'objet OP. Ensuite on voit aussi que cette image n'est pas renversée comme dans le cas précédent, mais qu'elle est debout de même que l'objet.

De là V. A. comprend quel usage peuvent tirer de ces verres les personnes dont la vue n'est pas bonne pour regarder les objets de près, et qui les voient mieux dans un grand éloignement. Ces personnes n'ont qu'à regarder ces objets par des verres convexes, et ils les verront comme s'ils étaient fort éloignés. Ce défaut de ne pas bien voir les objets qui sont près de nous se trouve ordinairement chez les vieillards, qui se servent aussi pour cette raison de lunettes qui contiennent deux verres convexes, et qui, étant exposés au soleil, brûlent aussi bien qu'un verre ardent, ce qui fait connaître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer est fort court ; d'autres se servent de lunettes d'un foyer

plus grand, selon la portée de leur vue : mais il me suffit pour le présent d'avoir expliqué l'usage de ces lunettes en général.

LETTRE LXVI.

(16 janvier 1762.)

Sur l'usage et l'effet d'un verre concave, lorsqu'on regarde immédiatement à travers.

V. A. vient de voir comment les verres convexes soulagent la vue des vieillards, en leur représentant les objets plus loin qu'ils sont effectivement ; mais il y a aussi des yeux qui demandent, pour voir distinctement les objets, qu'ils soient représentés plus près, et ce sont les verres concaves qui leur rendent ce service : ceci me conduit à l'explication de l'effet des verres concaves, qui est directement contraire à celui des verres convexes.

Lorsque l'objet OP (*fig.* 72) est fort éloigné, et que ses rayons OM, OM tombent presque parallèles sur le verre concave TV, alors, au lieu de devenir convergents par la réfraction du verre, ils deviennent au contraire plus divergents, en suivant les routes NF, NF, qui, étant prolongées en arrière, concourent dans le point *o*; de sorte qu'un œil placé par exemple en E, reçoit ces rayons réfractés de la même manière que s'ils partaient du point *o*, quoique effectivement ils viennent du point O; et c'est par cette raison que j'ai dans la figure ponctué les lignes droites N*o*, N*o*.

Comme l'objet est supposé être infiniment éloigné, si le verre était convexe, le point o serait ce qu'on nomme foyer; mais puisqu'ici il n'arrive aucune concurrence réelle de rayons, on nomme alors ce point le foyer imaginaire du verre concave; quelques auteurs le nomment aussi le point de dispersion, puisque les rayons réfractés par le verre semblent être dispersés de ce point.

Les verres concaves n'ont donc point un vrai foyer comme les convexes, mais seulement un foyer imaginaire, dont la distance au verre Ao est cependant aussi nommée la distance du foyer de ce verre, et sert, par le moyen d'une règle semblable à celle qu'on donne pour les verres convexes, à déterminer le lieu de l'image, lorsque l'objet n'est pas infiniment éloigné. Or, cette image est toujours imaginaire; au lieu que, pour les verres convexes, elle ne devient imaginaire que lorsque l'objet est plus proche que la distance du foyer. Sans entrer dans l'explication de cette règle, qui regarde uniquement le calcul, il suffit de remarquer :

I. Que lorsque l'objet OP est infiniment éloigné, l'image imaginaire op est représentée à la distance de foyer du verre concave, et cela vers le même côté que se trouve l'objet. Cependant, quoique cette image soit imaginaire, l'œil placé en E est tout aussi bien affecté que si elle était réelle, comme j'ai eu l'honneur de le dire à V. A. au sujet des verres convexes, où l'objet est plus proche du verre que sa distance du foyer.

II. Lorsqu'on approche davantage du verre l'ob-

jet OP, son image *op* s'approchera aussi davantage du verre, mais de sorte que l'image sera toujours plus proche du verre que l'objet; au lieu que, pour les verres convexes, l'image en est plus éloignée que l'objet. Pour mieux éclaircir cela, supposons que la distance de foyer du verre concave soit de six pouces. Si la distance de l'objet OA est

infinie, 30, 12, 6, 3, 2,

la distance de l'image *o*A sera

6, 5, 4, 3, 2, $1\frac{1}{2}$.

III. Pour la grandeur de l'image imaginaire *op*, on la détermine toujours par la même règle. On tire du milieu du verre une ligne droite à l'extrémité de l'objet P, qui passera alors par l'extrémité *p* de l'image : car, puisque la ligne PA représente un rayon qui vient de l'extrémité de l'objet, il faut que ce même rayon, après la réfraction, passe par l'extrémité de l'image; mais ce rayon PA, puisqu'il passe par le milieu du verre, ne souffre aucune réfraction; donc, il faut qu'il passe lui-même par l'extrémité de l'image, qui sera en *p*.

IV. Cette image n'est pas renversée, mais dans un sens naturel comme l'objet; et on peut observer cette règle générale, que, toutes les fois que l'image tombe du même côté du verre où est l'objet, l'image est toujours représentée debout, soit que le verre soit convexe ou concave; mais quand l'image est représentée de l'autre côté du verre, alors l'image est renversée; or, ce cas ne saurait avoir lieu que dans les verres convexes.

V. De là il est clair que les images représentées ır les verres concaves sont toujours plus petites ue les objets : et la raison en est évidente, puisque s images sont plus proches que les objets; on n'a u'à regarder la figure pour s'assurer de cette vété. Ce sont les propriétés principales qu'il est bon e remarquer sur la nature des verres concaves, et ı manière dont ils représentent les objets.

Maintenant il est aisé de comprendre comment s verres concaves rendent de grands services à ;ux qui ont une vue courte. V. A. connaît bien es personnes qui ne sauraient lire ou écrire, à ıoins qu'elles ne touchent presque le papier de ur nez. Afin donc que ces gens voient distinctement, il faut qu'ils approchent les objets de leurs ;ux, et je crois avoir déjà remarqué qu'on leur onne le nom de *myopes* : à ceux-ci les verres conıves seront d'un excellent usage, car ils leur reésentent les objets les plus éloignés comme étant rt près : les images n'étant plus éloignées de ces ;rres que de leur distance de foyer, qui, pour la lupart, ne surpasse pas quelques pouces.

Il est bien vrai que ces images sont aussi beauup plus petites que les objets mêmes; mais cela apporte aucun obstacle à la vision distincte. Une etite chose de près nous peut paraître plus grande u'un très-grand corps lorsqu'il est fort éloigné. En fet, une pièce de *deux dreyer* (1) paraîtra à V. A.

(1) Petite monnaie d'argent, qui est la quarante-huitième rtie d'un écu, et un peu plus grande que la prunelle de l'œil. (*Note des anciennes éditions.*)

plus grande qu'une étoile du ciel, quand même cette étoile surpasserait de beaucoup la terre en grosseur.

Ceux donc qui ont la vue courte, ou les myopes, ont besoin de verres qui leur représentent les objets plus près, et ce sont les verres concaves. Or, ceux qui ont la vue trop longue, qu'on nomme *presbytes*, ont besoin de verres convexes, qui leur représentent les objets dans un plus grand éloignement.

LETTRE LXVII.

(19 janvier 1762.)

De la grandeur apparente, de l'angle visuel; et sur les microscopes en général.

J'ai eu l'honneur de parler à V. A. des myopes, qui sont obligés de se servir de verres concaves pour bien voir les objets éloignés, pendant que les presbytes se servent de verres convexes pour bien voir les objets voisins: chaque vue a une certaine étendue, chacun voudrait avoir un verre qui lui représentât parfaitement les objets. Chez les myopes, cette distance est fort petite, et chez les presbytes très-grande; mais on trouve aussi des yeux si bien conditionnés, qu'ils voient également bien les objets voisins et les éloignés.

Cependant, de quelque nature que soit la vue d'un homme, la distance ne doit jamais être trop

.te : il n'y a point de myopes qui puissent voir
inctement à une distance plus petite qu'un
ıce. V. A. aura sans doute bien observé que
ıqu'elle approche un objet trop près de ses yeux,
ne voit rien que très-confusément; cela dé-
ıd de la structure des yeux, qui est telle dans
hommes, qu'ils ne peuvent pas voir à une trop
ite distance : mais il n'y a aucun doute que les
ectes puissent voir à de très-petites distances, et
les objets fort éloignés leur demeurent invisi-
s. Je ne crois pas qu'une petite mouche puisse
r les étoiles, parce qu'elle voit très-bien à la dis-
ce d'une dixième partie d'un pouce, où nous ne
ons absolument rien. Cette considération me
ıduit à l'explication des microscopes, qui nous
résentent les plus petits objets comme s'ils
ient bien grands. Or, pour en donner une juste
e, il faut bien distinguer la grandeur apparente
chaque objet, de sa grandeur véritable; celle-ci
l'objet de la géométrie, et est invariable tant
a le corps demeure dans son état. Mais la gran-
ır apparente peut varier à l'infini, quoique le
ps demeure toujours le même. Ainsi, les étoiles
ıs paraissent extrêmement petites, quoique leur
ndeur véritable soit prodigieuse. La raison en
que nous en sommes à une très-grande distance.
nous était permis de nous approcher, elles nous
aîtraient plus grandes : d'où V. A. jugera aisé-
nt que la grandeur apparente dépend de l'angle
e font entre eux les rayons qui viennent des ex-
mités de l'objet dans nos yeux.

Soit POQ (*fig.* 73) l'objet de notre vue, lequel, si l'œil était placé en A, paraîtra sous l'angle PAQ, qui est nommé l'angle visuel, et nous indique la grandeur apparente de cet objet; d'où il est évident que plus l'œil s'éloigne de l'objet, plus cet angle devient petit; et ainsi il est possible que les plus grands corps nous paraissent sous un très-petit angle visuel, pourvu que nous nous en soyons assez éloignés, comme il arrive dans les étoiles. Mais quand l'œil s'approche davantage de l'objet, et qu'il le regarde de B, il lui paraîtra sous l'angle visuel PBQ, qui est visiblement plus grand que PAQ. Approchons l'œil jusqu'en C, et l'angle visuel PCQ sera encore plus grand. De plus, l'œil étant placé en D, l'angle visuel sera PDQ; et en l'approchant jusqu'en E, l'angle visuel sera PEQ toujours plus grand. Donc, plus on approche l'œil de l'objet, plus l'angle visuel devient grand, et ainsi la grandeur apparente plus grande. Donc, quelque petit que soit l'objet, il est possible d'en augmenter la grandeur apparente autant qu'on voudra : on n'a qu'à s'en approcher autant qu'il faut pour un si grand angle visuel. Ainsi, une mouche étant assez proche de l'œil pourra paraître sous un aussi grand angle qu'un éléphant, à la distance de dix pieds. Dans une telle comparaison, il faut soigneusement ajouter la distance dans laquelle on suppose voir l'éléphant; car, sans cette condition, on ne dirait absolument rien, puisqu'un éléphant ne nous paraît grand que quand nous n'en sommes pas fort éloignés. Déjà, à la distance d'un mille, on ne distingue

être plus un éléphant d'un cochon; et s'il était
porté dans la lune, il deviendrait absolument
ible, à cause de sa trop petite grandeur appa-
; et à cet égard je pourrais bien dire qu'une
:he me paraît plus grande qu'un éléphant, s'il
ouvait dans un très-grand éloignement. Ainsi,
d on veut parler avec précision, on ne peut
parler de la grandeur apparente d'un corps
avoir égard à la distance de ce corps, puisque
me corps nous peut paraître tantôt très-grand,
t très-petit, selon que la distance est plus pe-
u plus grande. Il semble donc très-facile de
les plus petits objets sous de très-grands angles
ls : on n'a qu'à les tenir à une très-petite dis-
de l'œil.

ie mouche pourrait bien se servir de cet expé-
; mais les yeux des hommes ne sauraient rien
dans de trop petites distances, quelque courte
soit leur vue; d'ailleurs les bonnes vues vou-
nt aussi voir les plus petits objets d'une ex-
e grosseur. Il s'agit de trouver un moyen par
el nous puissions voir un objet distinctement,
bstant sa grande proximité de l'œil. Les verres
exes nous procurent cet avantage, en éloignant
ge des objets qui nous sont trop près.

i'on se serve d'un très-petit verre convexe MN
74), dont la distance de foyer soit très-petite,
me, par exemple, un demi-pouce : si l'on place
nt ce verre un petit objet OP à une distance un
plus petite que d'un demi-pouce, le verre en
ésentera l'image quelque part en *op*, aussi loin

qu'on voudra. Qu'on tienne donc l'œil derrière le verre, et il verra l'objet de la même manière que s'il était actuellement en *o*, et ainsi dans un éloignement suffisant, et tout comme si sa grandeur était *op* : comme l'œil est supposé très-proche du verre, l'angle visuel sera *pio*, c'est-à-dire, le même que P*i*O sous lequel l'œil nu verrait l'objet OP dans cette proximité; mais la vision est à présent devenue distincte par le moyen du verre : c'est le principe sur lequel la construction des microscopes est fondée.

LETTRE LXVIII.

(23 janvier 1762.)

Sur l'estime des grossissements des objets contemplés par des microscopes.

Quand plusieurs personnes regardent par un microscope le même objet, comme, par exemple, le pied d'une mouche, tous conviennent qu'ils le voient très-grand ; mais leur jugement sur la véritable grosseur sera fort partagé : l'un dira que ce pied lui paraît aussi grand que celui d'un cheval, un autre que celui d'une chèvre, le troisième que celui d'un chat. Or, au fond, aucun n'avance rien de précis là-dessus, à moins qu'il n'ajoute à quelle distance il prétend voir les pieds du cheval, ou de la chèvre, ou du chat : ils sous-entendent donc eux-mêmes, sans qu'ils le disent, chacun une cer-

taine distance, laquelle étant sans doute différente, on n'a pas lieu d'être surpris de leurs divers sentiments, puisqu'un pied de cheval étant vu de loin peut bien ne pas paraître plus grand qu'un pied de chat vu de près. Ainsi, quand il s'agit de dire combien un microscope grossit les objets, il faut s'accoutumer à parler d'une manière plus précise, et expliquer principalement la distance dans la comparaison qu'on veut faire.

Or, d'abord il ne convient pas de comparer les apparences que nous offrent les microscopes avec les objets d'une autre nature, que nous sommes accoutumés de voir tantôt loin, tantôt près; le plus sûr moyen de régler cette estime semble celui dont les auteurs qui traitent des microscopes se servent actuellement. Ils comparent un petit objet vu par le microscope, avec celui sous lequel le même objet serait vu à la vue simple en étant éloigné à une certaine distance, et ils sont d'avis que, pour bien contempler un tel petit objet à la vue simple, il le faut placer à la distance de huit pouces; ils se règlent dans cela sur de bons yeux, car un myope s'en approcherait bien davantage, et un presbyte ferait le contraire. Mais cette différence n'influe pas sur le raisonnement, pourvu qu'on fixe la distance sur laquelle on se règle, et il n'y a aucune raison qui nous oblige de fixer une autre distance que celle de huit pouces, reçue de tous les auteurs qui ont traité cette matière. Ainsi, quand on dit qu'un microscope rend les objets 100 fois plus grands, V. A. entendra qu'à l'aide de ce microscope

les objets paraissent 100 fois plus grands que si nous les regardions à la distance de 8 pouces, et par ce moyen elle se formera une juste idée de l'effet d'un microscope.

En général, un microscope grossit autant de fois qu'un objet paraît plus grand que si on le regardait sans le secours du verre à la distance de 8 pouces. V. A. conviendra aisément que c'est déjà un effet surprenant, que de voir un objet 100 fois plus grand qu'il ne paraît à la distance de 8 pouces; mais on a poussé la chose beaucoup plus loin, et on a des microscopes qui grossissent jusqu'à 500 fois, ce qui est prodigieux : on pourrait bien dire alors que la jambe d'une mouche paraît plus grande que celle d'un éléphant. Je crois même qu'on pourrait bien faire des microscopes qui grossiraient 1 000 fois et même 2 000 fois, qui nous découvriraient sans doute quantité de choses qui nous sont encore inconnues.

Mais quand on dit qu'un objet paraît par le microscope 100 fois plus grand qu'étant vu à la distance de 8 pouces, il faut entendre par là que l'objet est grossi tant en longueur qu'en largeur et profondeur, de sorte que chacune de ces dimensions paraît 100 fois plus grande. On n'a donc qu'à concevoir à la distance de 8 pouces un autre objet semblable au premier, mais dont la longueur soit 100 fois plus grande, de même que la largeur et la profondeur, et ce sera l'image qu'on voit par le microscope. Or, si tant la longueur que la largeur et la profondeur d'un objet sont 100 fois plus grandes

que celles d'un autre, V. A. comprendra aisément que toute l'étendue sera beaucoup plus de 100 fois plus grande : pour mettre cela dans tout son jour, concevons deux parallélogrammes ABCD et EFGH (*fig.* 75) qui aient la même largeur, mais que la longueur du premier AB soit 5 fois plus grande que la longueur de l'autre EF, et il est clair que l'aire ou l'espace contenu dans le premier est 5 fois plus grande que celle qui est renfermée dans l'autre, puisque, en effet, celui-ci est 5 fois contenu dans le premier. Donc, pour que le parallélogramme AD soit 5 fois plus grand que le parallélogramme EH, il suffit que sa longueur AB soit 5 fois plus grande, pendant que la largeur est la même; et si, outre cela, la largeur était aussi 5 fois plus grande, il deviendrait encore 5 fois plus grand; et ainsi 5 fois 5 fois, c'est-à-dire 25 fois plus grand. Ainsi, de deux surfaces semblables, dont l'une est 5 fois plus longue et 5 fois plus large que l'autre, celle-là est effectivement 25 fois plus grande.

Si nous mettons encore en ligne de compte la profondeur ou hauteur, l'augmentation sera encore plus grande. Que V. A. conçoive deux chambres, dont l'une soit 5 fois plus longue, 5 fois plus large et aussi 5 fois plus haute que l'autre, sa capacité deviendra 5 fois 25 fois, c'est-à-dire 125 fois plus grande. Donc, lorsqu'on dit qu'un microscope grossit 100 fois, puisqu'on le doit entendre tant de la longueur que de la largeur et profondeur ou épaisseur, c'est-à-dire de toutes les trois dimensions, toute l'étendue de l'objet sera augmentée 100 fois

100 fois 100 fois; or, 100 fois 100 fait 10 000, qui, étant pris encore 100 fois, donne 1 000 000, ou un million : ainsi, quand un microscope grossit 100 fois, l'étendue tout entière de l'objet est représentée 1 000 000 plus grande. Cependant on se contente de dire que le microscope ne grossit que 100 fois; mais il faut entendre que chaque dimension, savoir, la longueur, la largeur et la profondeur, est représentée 100 fois plus grande. Donc, si un microscope grossissait 1 000 fois, l'étendue entière de l'objet deviendrait 1 000 fois 1 000 fois 1 000 fois plus grande, ce qui fait 1 000 000 000, ou mille millions; ce qui serait un effet prodigieux. Cette remarque est bien nécessaire pour se former une juste idée de ce qu'on dit sur la force des microscopes.

LETTRE LXIX.

(26 janvier 1762.)

Proposition fondamentale pour la construction des microscopes simples, et devis de quelques microscopes simples.

Ayant expliqué à V. A. de quelle manière on doit juger de la force des microscopes, il me sera aisé de démontrer la proposition fondamentale pour la construction des microscopes simples. Or, à cette occasion, je dois remarquer qu'il y a deux sortes de microscopes : les uns ne contiennent qu'un seul

:rre, et les autres en contiennent deux ou plu-
eurs; ceux-là portent le nom de microscopes sim-
es, et ceux-ci de microscopes composés, qui
:mandent des éclaircissements particuliers. J'en-
etiendrai V. A. en premier lieu des microscopes
mples, qui ne consistent que dans un seul verre
ınvexe, dont l'effet est déterminé par cette pro-
›sition : *Un microscope simple grossit autant de
is que sa distance de foyer est plus près que* 8
uces. En voici la démonstration :

Soit MN (*fig.* 76) un tel verre convexe dont la
stance de foyer soit CO, à laquelle il faut placer
ıbjet OP à peu près, afin que l'œil le voie distinc-
ment; or, il verra cet objet sous l'angle OCP. Mais
l'on regardait le même objet à la distance de 8
›uces, il paraîtrait sous un angle autant de fois
us petit que la distance de 8 pouces surpasse la
stance CO; et l'objet paraîtra donc autant de fois
us grand que si on le regardait à la distance de
pouces. Or, selon la règle établie ci-dessus, un
icroscope grossit autant de fois qu'il nous pré-
nte les objets plus grands que si nous les regar-
ons à la distance de 8 pouces. Par conséquent
ı microscope grossit autant de fois que sa dis-
nce de foyer est plus petite que 8 pouces. Donc
ı verre dont la distance de foyer est un pouce,
ossit précisément 8 fois; et un verre dont la dis-
nce de foyer n'est qu'un demi-pouce, grossira 16
is. On divise un pouce en 12 parties qu'on nomme
gnes, de sorte qu'un demi-pouce contient 6 li-
ıes; de là il sera aisé de dire combien de fois cha-

que verre dont la distance de foyer est donnée en lignes, doit grossir, selon cette table :

Distance de foyer du verre..	12,	8,	6,	4,	3,	2,	1,	$\frac{1}{2}$	lignes.
Le verre grossit.........	8,	12,	16,	24,	32,	48,	96,	192	fois.

Ainsi un verre convexe, dont la distance de foyer est une ligne, grossit 96 fois; et si la distance est d'une demi-ligne, le microscope grossira 192 fois, ou environ 200 fois. Si l'on voulait des effets plus grands, il faudrait faire des verres dont le foyer fût encore plus petit. Or, j'ai déjà remarqué que, pour faire un verre d'un certain foyer donné, on n'a qu'à mettre le rayon de chaque face égal à cette distance de foyer, de sorte que le verre devienne également convexe des deux côtés. Je m'en vais donc exposer aux yeux de V. A. les dessins de quelques-uns de ces verres ou microscopes.

I. La distance AO du foyer du verre MN (*fig.* 77) est d'un pouce ou de 12 lignes (1). Ce microscope grossit donc 8 fois.

II. La distance de foyer du verre MN est de 8 lignes. Ce microscope grossit 12 fois.

III. La distance de foyer du verre MN est de 6 lignes. Ce microscope grossit 16 fois.

IV. La distance de foyer de ce verre est de 4 lignes. Ce microscope grossit 24 fois.

V. La distance de foyer de ce verre est de 3 lignes. Ce microscope grossit 32 fois.

(1) La *fig.* 77 est effectivement construite sur une échelle plus petite, ce qui est indifférent pour le raisonnement.

VI. La distance de foyer de ce verre est de 2 lignes. Ce microscope grossit 48 fois.

VII. La distance de foyer de ce verre n'est que d'une ligne. Ce microscope grossit 96 fois.

On peut faire encore des microscopes beaucoup plus petits. Les artistes en exécutent, et nous procurent par ce moyen des effets beaucoup plus considérables : par où il faut bien remarquer que la distance de l'objet au verre devient de plus en plus petite, puisqu'elle doit être à peu près égale à la distance de foyer du verre. Je dis à peu près, parce que chaque œil y approche le verre tant soit peu plus ou moins, selon sa constitution ; les myopes l'approchent davantage, et les presbytes moins. De là V. A. voit que plus l'effet est grand, plus le verre ou le microscope devient petit, et plus aussi il faut approcher l'objet : ce qui est un très-grand inconvénient d'un côté, puisqu'il est incommode de regarder à travers un si petit verre, et d'un autre côté, puisque l'objet doit être fixé si près de l'œil. On tâche de remédier à ces inconvénients par une garniture convenable qui en facilite l'usage ; mais la vision de l'objet se trouble considérablement, dès que la distance de l'objet souffre le moindre changement ; et comme dans les plus petits verres l'objet doit presque toucher le verre, dès que la surface de l'objet est tant soit peu inégale, on ne voit l'objet que confusément. Car quand les éminences se trouvent à la juste distance, les concavités en sont trop éloignées, et ainsi ne sauraient être vues que très-confusément. C'est la principale raison

qui nous oblige de renoncer aux microscopes simples, quand on souhaite des microscopes qui grossissent beaucoup, et de recourir aux microscopes composés.

LETTRE LXX.

(30 janvier 1762.)

Sur les bornes et les défauts des microscopes simples.

V. A. vient de voir comment il faut faire des microscopes simples, qui grossissent autant de fois qu'on peut souhaiter : on n'a qu'à fixer une ligne droite, comme celle que j'ai marquée AB (*fig.* 78), qui contienne précisément huit pouces du pied du Rhin, dont on se sert en Allemagne. Alors, autant de fois que l'on veut grossir l'objet, il faut partager cette ligne AB en autant de parties égales, dont une donnera la distance de foyer du verre demandé. Ainsi, si l'on veut grossir cent fois, la particule A 1 est la centième partie de la ligne AB ; par conséquent il faut faire un verre dont la distance de foyer soit précisément égale à cette partie A 1, qui donnera en même temps le rayon des faces du verre qui est représenté article VII de la *fig.* 77.

V. A. voit par là que, plus l'effet est grand, plus le verre doit être petit de même que sa distance de foyer, (distance) à laquelle il faut mettre l'objet OP devant le verre, en appliquant l'œil par derrière ; et si l'on faisait le verre deux fois plus petit que je ne l'ai dé-

;né pour grossir deux cents fois, le verre devien-
ait si petit, qu'il faudrait presque un microscope
ur voir le verre lui-même; aussi faudrait-il s'ap-
ocher si près qu'on toucherait presque le verre,
qui est sans doute un très-grand inconvénient,
mme j'ai déjà eu l'honneur de l'observer : de sorte
'on ne saurait à peine pousser l'effet du micro-
ope au delà de deux cents fois, ce qui ne suffit pas
ur voir les plus petites choses que la nature ren-
me. L'eau la plus claire contient de petits animal-
les qui, quoiqu'on les voie grossis deux cents
s, ne laissent pas de paraître comme des puces,
il faudrait avoir des microscopes qui grossissent
gt mille fois pour les voir de la grandeur d'un
t; or, il s'en faut beaucoup qu'on atteigne ce degré,
ême avec les microscopes composés.

Mais, outre les inconvénients des microscopes
nples, que je viens de remarquer, lorsqu'on de-
ande de très-grands effets, tous ceux qui se ser-
nt de ces instruments se plaignent encore d'un
tre qui n'est pas moins fâcheux : c'est que plus
grossit les objets, plus ils paraissent obscurs,
il semble qu'on les voit à la lueur d'une très-faible
mière, ou même au clair de la lune, de sorte
'on n'y saurait presque rien distinguer. V. A. n'en
a pas surprise, lorsqu'elle voudra se souvenir
e la lumière de la pleine lune est au delà de deux
nt mille fois plus faible que celle du soleil. C'est
nc un article bien important d'expliquer d'où
ent cette diminution de lumière. On comprend
ément que si les rayons qui viennent d'un très-

petit objet nous le doivent représenter comme s'il était beaucoup plus grand, cette petite quantité de lumière ne saurait être suffisante : cependant, quelque fondée que paraisse cette raison, elle n'est pas valable, et ne fait que nous éblouir sur cette question. Car si le verre, en grossissant davantage, entraîne après lui nécessairement une diminution de clarté, on devrait aussi s'en apercevoir dans les moindres effets, à supposer même que ce ne fût pas à un si haut degré; mais on peut grossir jusqu'à cinquante fois, sans qu'on s'aperçoive de la moindre diminution de lumière, qui cependant devrait être cinquante fois plus faible, si la raison alléguée était juste. Il faut donc chercher ailleurs la cause de ce phénomène, et il faut même remonter aux premiers principes de la vision.

A cette occasion, qu'il plaise à V. A. de se rappeler ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur l'usage de la pupille, ou bien de ce trou noir qu'on voit sur le milieu de l'iris dans l'œil. C'est par cette ouverture que les rayons entrent dans les yeux ; et ainsi plus cette ouverture est grande, plus il entre de rayons. Il faut ici considérer deux cas où les objets sont fort lumineux et brillants, et où ils ne sont éclairés que d'une lumière fort faible. Dans le premier cas la pupille se contracte elle-même, sans que notre volonté le commande ; et le Créateur l'a pourvue de cette faculté, pour préserver l'intérieur de l'œil du trop grand éclat de la lumière, qui blesserait infailliblement les nerfs. Donc, toutes les fois qu'on se trouve dans un lieu fort éclairé, on voit

utes les pupilles se rétrécissent, pour ne laisser
dans les yeux qu'autant de rayons qu'il en
our y dépeindre une image assez lumineuse.
e contraire arrive, lorsqu'on se trouve dans
ı sombre; alors la pupille s'agrandit, pour re-
la lumière en plus grande quantité. Il est fort
e remarquer ce changement toutes les fois
passe d'un lieu obscur dans un lieu fort éclairé.
e sujet dont il s'agit ici, je me borne à cette
stance, que plus il entre de rayons dans l'œil,
image qui est portée sur la rétine sera lumi-
; et réciproquement, plus la quantité de
qui entrent dans l'œil est petite, plus aussi
dans l'œil devient faible, et paraît par consé-
plus obscure. Or, il peut arriver qu'il n'entre
rt peu de rayons dans l'œil, quoique la pupille
en ouverte : on n'a qu'à faire avec une épingle
it trou dans un carton, et regarder quelque
alors, quelque éclairé qu'il soit du soleil, il
a d'autant plus sombre que le trou est plus
et par un trou semblable on peut même re-
le soleil. La raison en est bien évidente,
'il n'entre dans l'œil que fort peu de rayons :
ıe ouverte que soit la pupille, c'est le trou
ton qui détermine la quantité de lumière qui
lans l'œil, et non la pupille, qui fait ordinai-
t cette fonction.

rive la même chose dans les microscopes qui
sent beaucoup; car lorsque le verre est extrê-
ıt petit, il n'y passe qu'une fort petite quan-
rayons, comme *mn* (*fig.* 79), laquelle étant

plus petite que l'ouverture de la pupille, l'objet en doit paraître d'autant plus obscur; par là on voit que cette diminution de lumière n'arrive que lorsque le verre MN, ou plutôt sa partie ouverte est plus petite que la pupille. S'il était possible de produire un grand grossissement par le moyen d'un verre plus grand, cet obscurcissement n'aurait pas lieu, et c'est la véritable explication de la question proposée. Mais, pour remédier à cet inconvénient dans les grands effets du microscope, on tâche d'éclairer l'objet autant qu'il est possible, pour rendre plus fort le peu de rayons qui est porté à l'œil. Pour cet effet, on éclaire les objets par le soleil même, et on se sert aussi de miroirs qui y renvoient la clarté du soleil. Ce sont à peu près toutes les circonstances qu'on a à considérer dans les microscopes simples, et V. A. jugera par là aisément de l'effet de tous ceux qu'elle aura occasion de voir.

LETTRE LXXI.

(2 février 1762.)

Sur les télescopes et leur effet.

Avant que d'expliquer la construction des microscopes composés, j'espère qu'une digression sur les lunettes ou télescopes ne déplaira point à V. A. Ces deux espèces d'instruments sont parfaitement liés ensemble; l'un sert à mieux éclaircir l'autre.

ne les microscopes servent à considérer les s voisins, en nous les représentant sous un beaucoup plus grand que si nous les regar- à une certaine distance, comme de 8 pouces, e espèce est destinée à nous mieux découvrir bjets fort éloignés, en nous les représentant un plus grand angle qu'à la vue simple. Ces uments portent plusieurs noms, tant selon leur eur que selon leur destination; les plus petits nommés *lunettes de poche;* d'autres plus grands e même nom, qu'il faut bien distinguer des tes que les vieillards portent sur le nez. Ceux se servent les astronomes sont nommés *tubes;* nom général de tous est celui de *télescopes* (1). ont donc de tels instruments qui nous repré- nt les objets fort éloignés sous un plus grand qu'ils paraissent à la vue simple: cette défini- est très-juste, et ne renferme rien d'arbitraire ne celle des microscopes, dont l'effet est rap- à une certaine distance arbitraire, qu'on sup- communément de 8 pouces.

ais lorsqu'il s'agit d'objets fort éloignés, dont la nce est trop grande pour notre vue, l'effet se orte très-naturellement à la même distance, et élescope grossit autant de fois qu'il nous repré-

Les physiciens et les astronomes ne donnent maintenant le le *télescopes* qu'à des instruments où les images des objets és sont réfléchies par un miroir courbe (*voyez* plus haut re LV, et plus loin la lettre LXXXVI). On n'est pas non lans l'usage d'employer le mot *tube* comme synonyme de e *astronomique*.

sente les objets sous un plus grand angle qu'à la vue simple. Par exemple, la lune paraît à la vue simple sous un angle d'un demi-degré; par conséquent, un télescope grossit 100 fois, lorsqu'il nous représente la lune sous un angle de 50°, qui est 100 fois plus grand qu'un demi-degré; s'il grossissait 200 fois, il ferait voir la lune sous un angle de 100°; et ainsi la lune paraîtrait remplir plus de la moitié du ciel visible, dont toute l'étendue n'est que de 180°.

Communément on dit que les télescopes nous approchent les objets; ce qui est une manière de parler fort équivoque, qui admet deux significations différentes. L'une est que, voyant par un télescope, nous jugeons les objets autant de fois plus proches de nous, que le télescope grossit. Mais j'ai déjà eu l'honneur de faire remarquer à V. A. que nous ne saurions connaître les distances des objets que par le jugement, et que ce jugement ne saurait avoir lieu que dans les objets peu éloignés; donc, lorsque les objets sont aussi éloignés que nous le supposons ici, un tel jugement sur les distances tromperait beaucoup. L'autre signification est plus conforme à la vérité, quand on entend que les télescopes nous représentent les objets aussi grands que nous les verrions si nous en approchions davantage. Car V. A. sait que plus on s'approche d'un objet, plus l'angle sous lequel il paraît devient grand; et ainsi cette explication revient à celle que j'ai donnée au commencement. Cependant, lorsqu'on regarde des objets fort connus, comme des hommes dans un grand éloignement, et qu'on les voit par une lunette

sous un angle beaucoup plus grand, alors on est porté à s'imaginer que ces hommes sont actuellement beaucoup plus proches, puisqu'on les verrait alors effectivement sous un angle d'autant plus grand. Mais lorsqu'il s'agit d'objets peu connus, comme du soleil et de la lune, alors aucune estime de distance ne saurait avoir lieu. Ici, le cas est tout à fait différent de celui dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A., où un verre concave, dont se servent ceux qui ont la vue courte, représente les images des objets à une fort petite distance : par exemple, le verre concave dont je me sers me représente les images de tous les objets éloignés à la distance de 4 pouces; cependant je ne m'imagine point que le soleil, la lune et les étoiles soient si près de moi. Ainsi, nous ne jugeons pas les objets là où se trouvent leurs images représentées par les verres; nous le croyons aussi peu que l'existence des objets dans nos yeux, quoique leurs images y soient dépeintes; et V. A. se souviendra bien que le jugement sur la véritable distance des objets, de même que celui sur leur véritable grandeur, dépend de circonstances toutes particulières.

Le but principal des télescopes est donc de grossir ou de multiplier l'angle sous lequel les objets paraissent à la vue simple, et de là la division principale des télescopes se fait selon l'effet qu'ils procurent; de sorte qu'on dit que tel télescope grossit 5 fois, un autre 10 fois, un autre 20 fois ou 30 fois, et ainsi de suite. Là-dessus, je remarque que les lunettes de poche grossissent rarement au delà de 10 fois; mais

les lunettes ordinaires dont on se sert pour examiner les objets terrestres fort éloignés, grossissent depuis 20 jusqu'à 30 fois, et leur longueur monte jusqu'à 6 pieds et au delà. Un effet pareil, quoique très-considérable par rapport aux objets terrestres, est encore peu de chose pour les corps célestes, qui demandent un effet beaucoup plus grand. Ainsi on a des lunettes astronomiques ou des tubes qui grossissent depuis 50 fois jusqu'à 200 fois; et il paraît difficile d'aller plus loin, puisque, selon la manière ordinaire de les construire, plus l'effet est grand, plus ces lunettes deviennent longues. Une telle lunette qui doit grossir 100 fois a déjà 30 pieds de longueur, et une de 100 pieds peut à peine grossir 200 fois. Par là V. A. comprend que la difficulté de diriger et manier de telles machines met des obstacles insurmontables à pousser l'expérience plus loin. Le fameux Hevelius, astronome de Dantzick, se servait de tubes de 200 pieds; mais il faut que ces instruments aient été fort défectueux, puisque aujourd'hui on découvre les mêmes choses par de beaucoup plus courts.

Voilà donc en gros la description des télescopes et de leurs diverses espèces, qu'il est bon de bien remarquer avant que d'entrer dans le détail de leur construction, et de la manière dont on y joint deux ou plusieurs verres pour produire tous les différents effets.

LETTRE LXXII.

(6 février 1762.)

Sur les lunettes d'approche ou de poche.

ne sait pas trop à qui nous sommes redeva-
e la découverte des télescopes, si c'est à un
ı hollandais, ou à un Italien nommé Porta.
qu'il en soit, il y a à peu près 150 ans qu'on
mencé à faire de petites lunettes de poche,
›sées de deux verres, dont l'un était convexe
tre concave. Il semble que le pur hasard est
l à qui l'on soit redevable d'une découverte si
On a pu, sans aucun dessein, ou rapprocher
ıigner deux verres, jusqu'à ce que les objets
›aru distinctement.
verre convexe PAP (*fig.* 80) est dirigé vers
, et c'est au verre concave QBQ qu'on appli-
eil; par cette raison, le verre PAP est nommé
tif, et le verre QBQ l'*oculaire*. Ces deux verres
isposés sur le même axe AB, qui est perpen-
ire sur l'un et l'autre verre, et passe par le mi-
.a distance de foyer du verre convexe PAP
re plus grande que celle du verre concave, et
res doivent être disposés en sorte que si AF
listance du foyer de l'objectif PAP, le foyer de
ire QBQ tombe dans le même point F, et ainsi
valle entre les verres AB est la différence

entre les distances de foyer de ces deux verres, AF étant la distance de foyer de l'objectif, et BF celle de l'oculaire. Quand les verres sont placés, ceux qui ont la vue bonne verront fort bien les objets éloignés, et ils leur paraîtront autant de fois plus grands que la ligne AF est plus grande que BF. Ainsi, prenant la distance de foyer de l'objectif de 6 pouces, et celle de l'oculaire de 1 pouce, les objets seront grossis 6 fois, ou paraîtront sous un angle 6 fois plus grand qu'à la vue simple; et dans ce cas l'intervalle entre les verres A, B sera de 5 pouces, ce qui est en même temps la longueur de la lunette. V. A. sent bien, sans que je lui dise, que ces deux verres sont enchâssés dans un tuyau de la même longueur, quoique je ne l'aie pas exprimé dans la figure.

Après avoir exposé de quelle manière les deux verres doivent être joints ensemble pour qu'il en résulte un bon instrument, il y a deux choses que je dois faire remarquer à V. A.: l'une, pourquoi ces verres nous représentent distinctement les objets, et l'autre, pourquoi ils paraissent autant de fois grossis que la ligne AF surpasse la ligne BF. Par rapport à la première, il faut remarquer qu'une bonne vue voit mieux les objets, lorsqu'ils sont si éloignés qu'on puisse regarder les rayons qui tombent dans l'œil comme parallèles entre eux.

Considérons donc un point V (*fig.* 81) dans l'objet vers lequel est dirigée la lunette; et, puisqu'on le suppose fort éloigné, les rayons qui tombent sur l'objectif PQ, OA, PQ, seront presque pa-

rallèles entre eux; et ainsi l'objectif QAQ étant un verre convexe, le réunira dans son foyer F; de sorte que ces rayons, étant convergents, ne conviendraient point à une bonne vue. Or, le verre concave en B ayant le pouvoir de rendre les rayons plus divergents, ou de diminuer leur convergence, rompra les rayons QR et QR, en sorte qu'ils deviendront parallèles entre eux, ou bien, au lieu de se réunir en F, ils prendront la route RS, RS, parallèle à l'axe BF; et ainsi une bonne vue, sur laquelle on se règle toujours dans la construction de ces instruments, en recevant ces rayons parallèles RS, BF, RS, verra distinctement l'objet. Or, la raison pourquoi les rayons RS, RS, deviennent précisément parallèles entre eux, est que le verre concave a son foyer, ou plutôt son point de dispersion, en F.

V. A. n'a qu'à se souvenir que lorsque les rayons parallèles tombent sur un verre concave, ils deviennent par la réfraction divergents; en sorte qu'étant continués en arrière, ils se rendent dans le foyer. Cela posé, nous n'avons qu'à renverser le cas, et regarder les rayons SR, SR, comme incidents sur le verre concave: alors il est certain qu'ils prendront les routes RQ, RQ, qui, étant continuées en arrière, se rendent au point F, où est le foyer commun des verres convexe et concave. Maintenant, c'est une loi générale que, de quelque manière que les rayons soient rompus, en allant d'un lieu à un autre, ils doivent toujours souffrir les mêmes réfractions, en retournant du dernier lieu au premier. Donc, si aux rayons incidents SR, SR, répondent les rayons

réfractés RQ, RQ; alors, réciproquement, si les rayons QR, QR, sont les incidents, les réfractés seront RS et RS.

La chose deviendra peut-être encore plus claire, quand je dirai que les verres concaves ont le pouvoir de rendre parallèles ces rayons, qui, sans la réfraction, se rendaient dans leurs foyers; ou bien V. A. n'a qu'à bien saisir les règles suivantes sur la réfraction tant des verres convexes que des concaves.

I. Par un verre convexe (*fig.* 82), les rayons parallèles deviennent convergents. Les convergents deviennent encore plus convergents (*fig.* 83). Or, les divergents deviennent moins divergents.

II. Par un verre concave, les rayons parallèles deviennent divergents (*fig.* 84). Les divergents deviennent encore plus divergents (*fig.* 85). Or, les convergents deviennent moins convergents.

Tout cela est fondé sur la nature de la réfraction et de la figure des verres, dont le détail demanderait des discussions trop longues; et outre cela les deux règles que je viens de rapporter en renferment l'essentiel. Par là il est donc suffisamment prouvé que lorsque le verre convexe et le verre concave sont joints de façon qu'ils acquièrent un foyer commun en F, les objets éloignés en seront représentés distinctement, puisque le parallélisme entre les rayons est rétabli par le verre concave, après que le verre convexe les a rendus convergents; ou bien les rayons des objets fort éloignés étant presque parallèles entre eux, deviennent convergents par les

verres convexes, et ensuite le verre concave détruit cette convergence, et rend les rayons de nouveau parallèles entre eux.

LETTRE LXXIII.

(9 février 1762.)

Sur les grossissements des lunettes.

Il me reste encore à faire voir à V. A. l'article principal sur les lunettes; c'est celui qui regarde leur effet en grossissant les objets. J'espère de le mettre dans un tel jour, que toute espèce de doute sera dissipée: pour cet effet, je renfermerai ce que j'ai à dire dans les propositions suivantes:

I. Soit E*e* (*fig.* 86) l'objet situé sur l'axe de la lunette qui traverse les deux verres perpendiculairement par leurs milieux. Or, il faut considérer cet objet E*e* comme infiniment éloigné.

II. Donc, si l'œil placé en A regarde cet objet, il le verra sous l'angle EA*e*, nommé son angle visuel. Et ainsi il faut prouver qu'en regardant ce même objet par la lunette, il paraîtra sous un plus grand angle, et exactement autant de fois plus grand que la distance de foyer du verre objectif PAP surpasse celle de l'oculaire QBQ.

III. Comme l'effet de tous les verres consiste à représenter les objets dans un autre lieu et avec une certaine grandeur, nous n'avons qu'à examiner

les images qui seront successivement représentées par les deux verres, dont la dernière est l'objet immédiat de la vue de celui qui regarde dans la lunette.

IV. Or, l'objet E*e* étant infiniment éloigné du verre convexe PAP, son image sera représentée derrière le verre en F*f*, de sorte que AF soit égal à la distance de foyer du verre; et la grandeur de cette image F*f* est déterminée par la ligne droite *f*A*e*, tirée de l'extrémité de l'objet *e* par le milieu du verre A; par où l'on voit que cette image est renversée, et autant de fois plus petite que l'objet, que la distance AF est plus petite que la distance AE.

V. Maintenant cette image F*f* tient lieu de l'objet, par rapport au verre oculaire QBQ; puisque les rayons qui tombent sur ce verre sont ceux mêmes qui voudraient presque former l'image F*f*, mais qui sont interceptés dans leur route par le verre concave QBQ; de sorte que cette image n'est qu'imaginaire: l'effet en est cependant le même que si elle était réelle.

VI. Cette image F*f*, que nous regardons à présent comme un objet, se trouvant à la distance de foyer du verre QBQ, sera transportée presque à l'infini par la réfraction de ce verre. La figure précédente marque cette nouvelle image en G*g*, dont la distance AG doit être conçue comme infinie, et les rayons réfractés pour la seconde fois par le verre QBQ tiendront la même route *comme* s'ils venaient effectivement de l'image G*g*.

VII. Cette seconde image G*g* étant donc l'objet

de celui qui regarde par la lunette, on en doit considérer la grandeur. Pour cet effet, puisqu'elle naît de la première image F*f* par la réfraction du verre QBQ, suivant la règle générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre B une ligne droite qui passe par *f* de la première image, et la ligne marquera en *g* l'extrémité de la seconde image.

VIII. Que le spectateur tienne à présent son œil en B; et puisque les rayons qu'il reçoit tiennent la même route, comme s'ils venaient effectivement de l'image G*g*, elle lui paraîtra sous l'angle GB*g*, qui est visiblement plus grand que l'angle EA*e*, sous lequel l'objet E*e* paraît à la vue simple.

IX. Pour mieux comparer ces deux angles, il est d'abord clair que l'angle EA*e* est égal à l'angle FA*f* qui lui est opposé par la pointe; de la même manière l'angle GB*g* est égal à l'angle FB*f*, puisqu'ils sont aussi opposés par la pointe en B. Il s'agit donc de prouver que l'angle FB*f* surpasse l'angle FA*f* autant de fois que la ligne AF surpasse la ligne BF, dont celle-là AF est la distance de foyer de l'objectif, et celle-ci BF la distance de foyer de l'oculaire.

X. Pour prouver cela, il faut recourir à certaines propositions tirées de la géométrie sur la nature des secteurs. V. A. se souviendra qu'un secteur est une partie d'un cercle renfermée entre deux rayons CM et CN, et un arc ou portion de la circonférence MN. Et ainsi, dans un secteur, il y a trois choses à considérer : 1° le rayon du cercle CM ou CN; 2° la quantité de l'arc MN; et 3° l'angle MCN.

XI. Considérons maintenant deux secteurs MCN (*fig.* 87) et *mcn*, dont les rayons CM et *cm* soient égaux entre eux; et il est prouvé, dans les éléments de géométrie, que les angles C et *c* tiennent entre eux le même rapport que les arcs MN et *mn*; ou bien l'angle C est autant de fois plus grand que l'angle *c*, que l'arc MN est plus grand que l'arc *mn*; mais, au lieu de cette façon de parler peu commode, on se sert de celle-ci : Les angles C et *c* sont proportionnels aux arcs MN et *mn*, lorsque les rayons sont égaux.

XII. Considérons aussi deux secteurs MCN et *mcn* (*fig.* 88), dont les angles C et *c* soient égaux entre eux, mais les rayons inégaux; et il est prouvé, dans la géométrie, que l'arc MN est autant de fois plus grand que l'arc *mn*, que le rayon CM est plus grand que *cm*; ou bien on dit que les arcs sont proportionnels aux rayons, lorsque les angles sont égaux. La raison en est évidente, puisque chaque arc contient autant de degrés que son angle, et que les degrés d'un grand cercle sont plus grands que ceux d'un petit cercle, autant de fois que le grand rayon surpasse le petit.

XIII. Considérons enfin aussi le cas où, dans les deux secteurs MCN et *mcn* (*fig.* 89), les arcs sont égaux entre eux, savoir, MN = *mn*, et les rayons CM et *cm* inégaux.

Dans ce cas, l'angle C qui répond au grand rayon CM est plus petit, et l'angle *c* qui répond au petit rayon *cm* plus grand, et cela dans le même rapport que les rayons : ou bien l'angle *c* est au-

tant de fois plus grand que l'angle C, que le rayon CM est plus grand que le rayon *cm* : ou bien, pour parler en géomètre, les angles sont réciproquement proportionnels aux rayons lorsque les arcs sont égaux.

XIV. Cette dernière considération me conduira à mon but, en y ajoutant cette réflexion, que lorsque les angles sont fort petits, comme cela arrive dans les lunettes de poche, alors les arcs MN et *mn* ne diffèrent pas sensiblement de leurs cordes, ou des lignes droites MN et *mn*.

XV. Cela remarqué, retournons à la *fig.* 86 : les triangles FA*f* et FB*f* peuvent être considérés comme des secteurs où l'arc F*f* est le même de part et d'autre. Par conséquent l'angle FB*f* surpasse autant de fois l'angle FA*f* que la distance AF surpasse la distance BF : ou bien l'objet E*e* paraîtra dans la lunette sous un angle autant de fois plus grand que la distance de foyer de l'objectif AF surpasse la distance de foyer de l'oculaire BF ; ce qu'il fallait démontrer.

LETTRE LXXIV.

(13 février 1762.)

Sur les défauts de ces lunettes de poche, et sur le champ apparent.

V. A. comprend aisément qu'on ne saurait prétendre de trop grands avantages de ces petites lunettes, et j'ai déjà remarqué qu'elles ne grossissent

les objets que de dix fois. Si on voulait pousser leur force plus loin, non-seulement la longueur en deviendrait trop grande pour pouvoir les porter dans la poche, mais il y aurait encore d'autres défauts plus essentiels auxquels elles seraient sujettes; ce qui a obligé les artistes de renoncer tout à fait à cette espèce de lunettes, dès qu'on demande de plus grands effets.

Le principal de ces défauts consiste dans la petitesse du champ apparent, ce qui me conduit à expliquer à V. A. cet article important qui regarde toutes les lunettes. Quand on dirige un télescope ou une lunette vers le ciel, ou vers d'autres objets fort éloignés sur la terre, l'espace qu'on découvre paraît sous la figure d'un cercle, et on ne voit que les objets qui se trouvent dans cet espace; de sorte que si l'on veut voir d'autres objets, il faut changer la position de l'instrument. Cet espace circulaire qui se présente aux spectateurs est nommé le *champ apparent*, ou simplement le champ de l'instrument: et V. A. conviendra aisément que c'est un grand avantage lorsque ce champ est fort grand, et qu'un très-petit champ est au contraire un grand défaut dans ces sortes d'instruments. Considérons deux lunettes qu'on ait dirigées vers la lune, et que par l'une on n'en découvre que la moitié, pendant que par l'autre on la voit tout entière avec les étoiles voisines; le champ de celle-ci est donc beaucoup plus grand que celui de celle-là. Celle qui présente un plus grand champ nous dispense non-seulement de l'embarras de changer si souvent de position,

mais on jouit aussi d'un avantage très-grand, qui est qu'en voyant en même temps plusieurs parties de l'objet, on les peut comparer entre elles.

C'est donc une des plus grandes perfections d'une lunette ou d'un télescope, lorsqu'il donne un plus grand champ; par cette raison, il est très-intéressant de mesurer le champ de tous ces instruments. Dans cette vue, on se règle sur le ciel, et on détermine l'espace circulaire qu'on voit à travers une lunette, en mesurant le diamètre en degrés et minutes. Ainsi, comme le diamètre apparent de la pleine lune est environ d'un demi-degré, si une lunette ou un télescope ne découvre que la lune, on dit que le diamètre de son champ est un demi-degré : si l'on ne voyait à la fois que le quart de la lune, le diamètre du champ serait un quart de degré.

La mesure des angles nous fournit donc le moyen de mesurer le champ apparent, et la chose est d'ailleurs claire d'elle-même. Supposons, dans la *fig.* 90, que par l'instrument AB on ne voie que l'espace POP et les objets qui y sont contenus; cet espace étant un cercle, son diamètre sera la ligne POP, dont le milieu O se trouve dans l'axe de l'instrument. Tirant donc des extrémités PP les lignes droites PC, PC, l'angle PCP exprime le diamètre du champ apparent, et la moitié de cet angle OCP est nommée le demi-diamètre du champ apparent. De là V. A. comprendra parfaitement ce qu'on doit entendre, lorsqu'on dit que le diamètre du champ apparent d'un tel instrument est d'un degré, que celui d'un autre est de deux degrés, etc.; ou bien

en le marquant par minutes, de 30 minutes, qui font un demi-degré, ou de 15 minutes, qui font un quart de degré.

Mais, pour bien juger du mérite d'une lunette ou d'un télescope par rapport au champ apparent, il faut aussi avoir égard au grossissement de l'instrument, où cette maxime a généralement lieu, que plus un télescope ou une lunette grossit, plus le champ apparent doit nécessairement être petit : ce sont des bornes que la nature même prescrit. Concevons un semblable instrument qui grossit 100 fois ; il est évident que le diamètre du champ ne saurait être de deux degrés ; car puisque cet espace nous paraîtrait 100 fois plus grand, il ressemblerait à un espace de 200 degrés, et ainsi plus grand que le ciel tout entier, qui d'un bout à l'autre ne contient que 180 degrés, et dont nous ne saurions découvrir à la fois que la moitié tout au plus, ou bien un espace circulaire de 90 degrés en diamètre. Par là V. A. voit qu'un télescope qui grossit 100 fois ne nous saurait même découvrir un champ d'un degré, vu que ce degré multiplié 100 fois ferait plus que 90 degrés ; et ainsi une semblable lunette qui grossit 100 fois serait excellente si le diamètre de son champ était un peu moindre d'un degré, et la nature même de l'instrument ne souffre pas un effet plus grand.

Mais une autre lunette ou un télescope, qui ne grossirait que 10 fois, serait bien défectueux s'il ne découvrait qu'un champ d'un degré en diamètre, puisque ce champ, étant multiplié 10 fois, ne res-

semblerait qu'à un espace de 10 degrés dans le ciel, ce qui serait bien peu de chose, et bornerait trop notre vue : nous aurions grande raison de rejeter tout à fait un tel instrument. Il sera donc fort aisé, par rapport au champ apparent, de juger de l'excellence ou du défaut de ces sortes d'instruments, quand on a égard à leur effet. Ainsi, lorsqu'il ne grossit que 10 fois, on peut bien conjecturer qu'il découvre un champ de 9 degrés, puisque 9 degrés pris 10 fois font 90 degrés, que notre vue est capable d'embrasser; et si le diamètre de son champ n'était que de 5 degrés ou encore plus petit, ce serait toujours un instrument fort défectueux. Or, j'aurai l'honneur de prouver à V. A. que, si l'on voulait faire de cette espèce de lunettes dont j'ai donné la description, qui grossiraient plus de 10 fois, elles auraient ce défaut, et que leur champ apparent multiplié par le grossissement serait fort au-dessous de 90 degrés, et ne montrerait pas même la moitié. Mais pour de moindres effets ce défaut n'est pas si sensible; car si une telle lunette ne grossit que 5 fois, le diamètre de son champ est environ de 4 degrés, qui, étant grossi 5 fois, ressemble à un espace de 20 degrés, dont on veut bien être content : mais si l'on voulait grossir 25 fois, le diamètre du champ ne serait que d'un demi-degré, qui, étant pris 25 fois, ne donnerait que 12 degrés, ce qui serait trop peu. Par cette raison, quand on veut grossir beaucoup, il faut se servir d'autres arrangements de verres, que je prendrai la liberté d'expliquer dans la suite.

LETTRE LXXV.

(16 février 1762.)

Détermination du champ apparent pour les lunettes de poche.

Le jugement sur le champ apparent étant de la plus grande importance dans la construction de télescopes et lunettes, j'en vais faire l'application aux petites lunettes sur lesquelles j'ai eu déjà l'honneur d'entretenir V. A.

Dans la *fig.* 86, le verre PAP est l'objectif, QBQ l'oculaire, et la droite EF l'axe de la lunette sur lequel, à une distance très-grande, se trouve l'objet E*e*, vu par l'instrument sous l'angle EA*e*, qui représente le demi-diamètre du champ apparent, puisqu'il s'étend autant de l'autre côté en bas. Le point E est donc le centre de l'espace vu par la lunette, dont le rayon EA, puisqu'il traverse perpendiculairement les deux verres, ne souffre aucune réfraction; et ainsi, pour que ce rayon entre dans l'œil, il faut fixer l'œil quelque part sur l'axe de la lunette BF, derrière l'oculaire, en sorte que le centre de la prunelle se trouve dans la ligne BF, ce qui est une règle générale pour toutes les lunettes. Considérons à présent l'extrémité visible de l'objet *e*, dont les rayons remplissent exactement toute l'ouverture du verre objectif PAP; mais il suffira de n'en considérer que le rayon EA, qui passe par le milieu de l'ob-

tif A, puisque les autres rayons l'entourent, et ne t presque que renforcer ce rayon : de sorte que, e rayon entre dans l'œil, les autres, ou au moins e bonne partie, y entrent aussi; et si ce rayon ntre point dans l'œil, quoique peut-être quel-es-uns des autres y entrent, ils sont trop faibles ur exciter dans l'œil une impression assez vive. ainsi nous pourrons fixer cette règle, que l'ex-mité *e* de l'objet n'est vue qu'en tant que le rayon , après avoir passé les deux verres, entre dans il.

Tout bien considéré, il faut donc examiner avec n la route de ce rayon *e*A. Or, premièrement, isque ce rayon passe par le milieu de l'objectif A, l'y souffre aucune réfraction, conformément à la gle établie au commencement, que les rayons qui ssent par le milieu d'un verre quelconque ne nt pas détournés de leur route, ou ne souffrent int de réfraction. Donc, ce rayon *e*A, après avoir ssé par l'objectif, continuerait la même route ur se réunir avec les autres rayons sortis du ème point *e*, au point *f* de l'image représentée r l'objectif en F*f*, le point *f* étant l'image du int *e* de l'objet : mais le rayon rencontrant en *m* verre concave hors de son milieu, sera détourné cette route; et au lieu d'aboutir en *f*, il prendra route en *mn* plus divergent de l'axe BF, comme st l'effet naturel des verres concaves de rendre rayons toujours plus divergents. Pour connaître tte nouvelle route *mn*, que V. A. veuille bien se uvenir que le verre objectif représente l'objet Ee

dans une situation renversée en F*f*, de sorte que AF est égal à la distance du foyer de ce verre, qui transporte l'objet E*e* en F*f*. Alors cette image F*f* tient lieu de l'objet à l'égard du verre oculaire QBQ. qui à son tour le transporte de nouveau en G*g*, dont la distance BG doit être aussi grande que celle de l'objet même; et, pour cet effet, il est nécessaire de placer l'oculaire de sorte que l'intervalle BF soit égal à sa distance du foyer.

Pour la grandeur de ces images, la première F*f* est déterminée par la droite *e*A*f*, tirée de *e* par le milieu A du premier verre; et l'autre G*g* par la droite *f*B*g*, tirée du point *f* par le milieu B du second verre. Cela marqué, le rayon A*m* dirigé vers le point *f* est réfracté, et sort en *mn* : et cette ligne *mn* étant continuée en arrière, passe par le point *g*, puisque ce rayon *mn* produit dans l'œil le même effet que s'il venait effectivement du point *g*. Maintenant, comme cette ligne *mn* s'éloigne de plus en plus de l'axe BF, où le centre de la pupille se trouve, le rayon *mn* ne saurait entrer dans l'œil qu'en tant que l'ouverture de la pupille s'étend jusque-là; et si l'ouverture de la pupille était réduite à rien, le rayon *mn* serait exclu de l'œil, et ainsi le point *e* de l'objet ne saurait être vu de l'œil, ni même aucun autre point de l'objet hors de l'axe AE : il n'y aurait donc point de champ apparent, et l'œil ne verrait par cette lunette que le seul point E de l'objet qui se trouve dans son axe. Par là il est clair que cette espèce de lunette ne découvre un champ qu'autant que la pupille est ouverte;

n sorte que plus l'ouverture de la pupille est rande ou petite, plus aussi le champ apparent sera rand ou petit. Dans ce cas, le point *e* sera donc ncore visible à l'œil, si le petit intervalle B*m* n'exèède point la demi-largeur de la pupille, ou bien on demi-diamètre, afin que le rayon *mn* y puisse ntrer; mais aussi dans ce cas il faut approcher l'œil lu verre oculaire autant qu'on le peut; car, puisque le rayon *mn* s'éloigne de l'axe FB, il échapperait à la pupille dans un plus grand éloignement.

Maintenant il est aisé de déterminer le champ pparent que ces lunettes nous découvrent sur le erre oculaire : on n'a qu'à prendre l'intervalle B*m* gal à la demi-largeur de la pupille, et tirer par ce oint *m*, et le milieu du verre objectif A, la ligne roite *m*A*e*; alors cette ligne marquera sur l'objet 'extrémité *e* qui sera encore visible par la lunette, t l'angle EA*e* donnera le demi-diamètre du champ pparent. Par là V. A. jugera aisément que, dès que la distance des verres AB surpasse de quelques pouces, l'angle BA*m* doit devenir très-petit, puisque la ligne ou distance B*m* n'est qu'environ la vingtième partie d'un pouce. Or, si l'on voulait grossir beaucoup, il faudrait que la distance des verres devienne très-considérable, et de là résulterait que le champ apparent deviendrait infiniment petit. C'est donc la nature des yeux qui met des bornes à cette espèce de lunettes, et qui nous oblige de recourir à d'autres espèces, dès qu'on souhaite des effets considérables.

LETTRE LXXVI.

(20 février 1762.)

Sur les lunettes astronomiques, et de leurs grossissements.

En passant à la seconde espèce de lunettes, qui sont ce qu'on appelle *lunettes astronomiques*, quelquefois *tubes*, je remarque que ces instruments ne sont composés que de deux verres, comme ceux de la première espèce; mais ici, au lieu de l'oculaire concave, on se sert d'un convexe. Je commencerai donc à donner à V. A. une idée de la construction de ces lunettes astronomiques.

L'objectif PAP (*fig.* 91) est, comme dans les autres, un verre convexe dont le foyer étant en F, on fixe sur le même axe un plus petit verre convexe QQ, de sorte que son foyer tombe dans le même point F. Alors tenant l'œil en O, de sorte que la distance BO soit à peu près égale à la distance de foyer de l'oculaire QQ, on verra les objets distinctement, et grossis autant de fois que la distance de foyer de l'objectif AF surpassera celle de l'oculaire BF : mais ce qu'il y a à remarquer, c'est que tous les objets paraissent dans une situation renversée, de sorte que si l'on dirige ces tubes vers des maisons, on voit les toits en bas, et le pavé en haut. Comme cette circonstance n'est point agréable pour les objets terrestres, que nous ne saurions pas voir renversés,

l'usage de ces instruments est borné aux objets célestes, qu'il nous est fort indifférent de voir dans un sens ou dans un autre ; il suffit à l'astronome de savoir que ce qu'il voit en haut se trouve réellement en bas, et réciproquement. Cependant rien n'empêche qu'on ne se serve aussi de ces lunettes pour les objets terrestres, et on s'accoutume bientôt à voir les objets renversés, pourvu qu'ils paraissent distinctement et fort grossis.

Après cette description, je dois prouver trois choses : la première, que par cet arrangement des verres les objets doivent paraître distinctement ; la seconde, qu'ils doivent paraître grossis autant de fois que la distance de foyer de l'objectif surpasse celle de l'oculaire, et cela dans une situation renversée ; la troisième chose à prouver, est qu'on ne doit pas appliquer l'œil immédiatement contre le verre oculaire, comme dans la première espèce, mais qu'il l'en faut éloigner à peu près à la distance de foyer de l'oculaire.

1°. Pour le premier article, la chose se prouve de la même manière que dans le premier cas : les rayons EP, *e*P, qui sont parallèles entre eux avant que d'entrer dans le verre objectif, se réunissent par la réfraction dans le foyer de ce verre en F, et ainsi il faut que le verre oculaire rétablisse le parallélisme entre ces rayons, attendu que la vision distincte exige que les rayons partis de chaque point soient à peu près parallèles entre eux, lorsqu'ils entrent dans l'œil. Or, le verre oculaire ayant son foyer en F, est placé de sorte qu'il rend les rayons FM,

FM, par la réfraction, parallèles entre eux; et conséquemment l'œil recevra les rayons N*o*, N*o*, parallèles entre eux.

2. Pour le second article, considérons l'objet en E*e* (*fig.* 92), mais en sorte que la distance EA soit presque infinie. L'image de cet objet représentée par le verre objectif sera donc F*f* située à la distance de foyer de ce verre AF, et déterminée par la droite *e*A*f* tirée par le milieu du verre. Cette image F*f*, qui est renversée, tient lieu d'objet par rapport au verre oculaire; et puisqu'elle se trouve dans son foyer, la seconde image sera de nouveau éloignée à l'infini par la réfraction de ce verre, et tombera par exemple en G*g*, la distance AG devant être conçue comme infinie, de même que AE. Or, pour déterminer la grandeur de cette image, on n'a qu'à tirer par le milieu B du verre, et l'extrémité *f*, la droite B*fg*. Maintenant cette seconde image G*g* étant l'objet immédiat de la vision de celui qui regarde dans la lunette, il est d'abord clair que cette représentation est renversée; et puisqu'elle est infiniment éloignée, elle paraîtra sous un angle GB*g*. Mais l'objet lui-même E*e* paraîtra à la vue simple sous l'angle EA*e*, où V. A. comprend, sans que je l'avertisse, qu'il est indifférent de prendre les points A et B pour avoir les angles visuels EA*e* et GB*g*, à cause de l'éloignement infini de l'objet. A présent V. A. voit ici, comme dans le cas précédent, que les triangles FA*f* et FB*f* peuvent être regardés comme des secteurs circulaires, la ligne F*f* étant l'arc de l'un et l'autre, puisque les angles mêmes sont si petits, qu'on ne se trompe pas sen-

siblement en prenant la corde pour les arcs. Donc, puisque les rayons de ces deux secteurs sont les lignes AE et BF, les arcs étant égaux entre eux, il s'ensuit de ce que j'ai prouvé ci-dessus fort amplement, que les angles FA*f* (ou bien EA*e*) et FB*f* (ou bien GB*g*) tiennent entre eux le même rapport que les rayons BF et AF. Donc l'angle GB*g*, sous lequel on voit l'objet par la lunette, est autant de fois plus grand que l'angle EA*e* sous lequel on voit l'objet à la vue simple, autant de fois que la ligne AF surpasse la ligne BF; et c'est la démonstration de mon second article. Je suis obligé de remettre celle du troisième à l'ordinaire prochain.

LETTRE LXXVII.

(25 février 1762.)

Sur leur champ apparent et le lieu de l'œil.

Pour m'acquitter, par rapport au troisième article, sur les lunettes astronomiques, qui regarde le lieu de l'œil derrière la lunette, je remarque que cet article est le plus étroitement lié avec le champ apparent, et que c'est précisément le champ qui nous oblige de tenir l'œil dans le lieu marqué, de sorte que si on l'approchait ou l'éloignait davantage, on ne découvrirait plus un si grand champ.

L'étendue du champ étant un article si essentiel et si important pour toutes les lunettes, il est égale-

ment important de bien fixer l'endroit de l'œil, d'où il découvre le plus grand champ. Si on appliquait l'œil immédiatement au verre oculaire, on aurait à peu près le même champ qu'on a dans les lorgnettes, et qui devient d'une petitesse insupportable dès que le grossissement est considérable. C'est donc un grand avantage pour les lunettes astronomiques, qu'en éloignant l'œil du verre oculaire, le champ apparent augmente jusqu'à un certain point; et c'est précisément la raison qui rend ces lunettes susceptibles de plus grands grossissements, pendant que celles de la première espèce ont été très-bornées à cet égard. V. A. a déjà appris qu'avec ces lunettes on pousse le grossissement au delà de 200 fois, ce qui leur donne une préférence infinie sur celles de la première espèce, qui à peine ne sauraient grossir 10 fois; et le petit inconvénient de la situation renversée doit s'évanouir tout à fait, par rapport à ce grand avantage.

Je tâcherai donc d'expliquer à V. A. cet important article aussi clairement qu'il me sera possible, et mes éclaircissements précédents sur le champ apparent ne manqueront pas de m'être d'un très-grand secours.

1. L'objet E*e* (*fig.* 93) étant infiniment éloigné, soit *e* son extrémité encore visible par la lunette, dont les verres sont PAP et QBQ, disposés sur le commun axe EABO, et il s'agit de bien considérer la route que tiendra le seul rayon qui passe de l'extrémité de l'objet *e* par le milieu A du verre objectif. V. A. se souviendra encore que les autres rayons qui

ıbent du point *e* sur le verre objectif ne font
accompagner et renforcer le rayon proposé *e*A,
est le principal par rapport à la vision.

ı. Or, ce rayon *e*A passant par le milieu du verre
, ne souffrira aucune inflexion, mais continuera
oute en ligne droite A*f*M, et, passant par l'extré-
é de l'image F*f*, atteindra l'oculaire au point M,
il est bon d'observer que si la grandeur du verre
ılaire ne s'étendait point jusqu'à M, ce rayon ne
viendrait jamais à l'œil, et le point *e* serait invi-
le ; c'est-à-dire, il faudrait prendre l'extrémité *e*
s proche de l'axe, pour que le rayon A*f*M ren-
ıtrât encore le verre oculaire.

}. Maintenant ce rayon AM sera rompu ou ré-
té par le verre oculaire, d'une certaine manière
il n'est pas difficile de découvrir. Nous n'avons
à considérer la seconde image G*g* : quoiqu'elle
t éloignée à l'infini, il suffit de savoir que la droite
prolongée passe par l'extrémité *g* de la seconde
ıge G*g*, qui est l'objet immédiat de la vue. Cela
narqué, il faut que le rayon rompu prenne une
e route NO, qui, étant prolongée, passe par le
nt *g*

ʻ. Puisque donc les deux lignes ON et B*f* concou-
ıt à l'infini en *g*, elles seront parallèles entre elles;
ù nous tirons cette méthode plus aisée pour dé-
miner la position du rayon rompu NO; on n'a
à le tirer parallèle à la ligne B*f*.

. De là il est très-évident que le rayon NO con-
ırt quelque part avec l'axe de la lunette en O; et
isque ordinairement lorsque le grossissement est

grand, le point F est beaucoup plus proche du verre QQ que du verre PP, l'intervalle BM sera tant soit peu plus grand que l'image F*f*; et puisque la ligne NO est parallèle à *f*B, la ligne BO sera presque égale à BF, c'est-à-dire, à la distance de foyer du verre oculaire.

6. Donc, si l'on tient l'œil en O, il recevra non-seulement les rayons qui viennent du milieu de l'objet E, mais aussi ceux qui viennent de l'extrémité *e*, et par conséquent aussi ceux qui partent de tous les points de l'objet; l'œil recevrait même à la fois les rayons BO et NO, quand même la pupille serait infiniment rétrécie. Dans ce cas donc, le champ apparent ne dépend point de l'ouverture de la pupille, pourvu que l'œil soit placé en O; mais dès que l'œil s'en éloigne, il doit perdre considérablement dans le champ apparent.

7. Si le point M n'était pas à l'extrémité du verre oculaire, il transmettrait des rayons encore plus éloignés de l'axe, et ainsi la lunette découvrirait un plus grand champ. Donc, pour déterminer le vrai champ apparent que la lunette est capable de découvrir, qu'on tire du milieu A du verre objectif, vers l'extrémité du verre oculaire M, la ligne droite AM, qui, étant continuée à l'objet, y marquera en *e* l'extrémité visible; et conséquemment l'angle EA*e*, ou bien BAM, donne le demi-diamètre du champ apparent, qui est par conséquent d'autant plus grand que l'étendue du verre oculaire est plus grande.

8. Donc, comme dans la première espèce le champ apparent dépendait uniquement de l'ouver-

ture de la pupille : ainsi dans ce cas il dépend uniquement de l'ouverture du verre oculaire; ce qui met une différence très-essentielle entre ces deux espèces, à l'avantage de la dernière. La même figure, que j'ai employée à la démonstration de cet article sur le lieu de l'œil et le champ apparent, est aussi très-propre à éclaircir davantage les articles précédents.

Quand V. A. veut bien considérer que le verre objectif transporte l'objet E*e* en F*f*, et que le verre oculaire le transporte de F*f* en G*g*, cette image G*g* étant fort éloignée de l'objet immédiat de la vue, doit être vue distinctement, puisqu'un bon œil demande une grande distance pour voir distinctement; ce qui était le premier article.

Pour le second article, il est d'abord évident que puisqu'au lieu du vrai objet E*e*, on voit par la lunette l'image G*g*, elle sera renversée. Ensuite, cette image est vue de l'œil placé en O sous l'angle GO*g* ou BON, pendant que l'objet même E*e* paraîtra à la vue simple sous l'angle EA*e*; donc, la lunette grossit autant de fois que l'angle BON est plus grand que l'angle EA*e*. Or, puisque la ligne NO est parallèle à B*f*, l'angle BON est égal à l'angle FB*f*, et l'angle EA*e* est égal à son opposé par la pointe FA*f*, d'où le grossissement doit être jugé, du rapport entre les angles FB*f* et FA*f*, dont celui-là est autant de fois plus grand que celui-ci, que la ligne AF, ou la distance du foyer de l'objectif, *surpasse* (1) la ligne BF, ou la distance du foyer de l'oculaire. Ce qui est

(1) Cette expression est impropre : lisez *contient*.

une preuve suffisante que les éléments de géométrie peuvent être employés à des recherches d'une nature tout à fait différente, ce que V. A. reconnaîtra avec bien de la satisfaction.

LETTRE LXXVIII.

(27 février 1762.)

Détermination du grossissement d'une lunette astronomique, et construction de telles lunettes qui grossissent les objets un nombre donné de fois.

Maintenant V. A. jugera aisément, non-seulement combien de fois grossit une lunette proposée, mais aussi comment il faut construire des lunettes qui grossissent autant de fois qu'on voudra. Dans le premier cas, on n'a qu'à mesurer la distance du foyer tant du verre objectif que celle de l'oculaire, pour voir combien de fois celle-là *surpasse* celle-ci, ce qui se fait par la division, et le quotient marquera le grossissement.

Ainsi, ayant une lunette dont la distance de foyer de l'objectif est de deux pieds, et celle de l'oculaire d'un pouce, il faut voir combien de fois un pouce est contenu en deux pieds. Ici, il faut savoir qu'un pied contient 12 pouces, et qu'ainsi deux pieds font 24 pouces, qu'il faut diviser par un pouce. Or, quelque nombre qu'on divise par un, le quotient est toujours égal au nombre même; ou bien, si l'on demande combien un pouce est contenu en 24 pou-

ces, on répond sans balancer : 24 fois; par conséquent la lunette en question grossit 24 fois, c'est-à-dire, elle nous représente les objets éloignés de la même manière que s'ils étaient 24 fois plus grands qu'ils ne le sont ; ou bien on les verra par la lunette sous un angle 24 fois plus grand qu'à la vue simple.

Considérons une autre lunette astronomique, dont la distance de foyer du verre objectif est de 32 pieds, et celle de l'oculaire de 3 pouces ; et V. A. verra que ces deux verres doivent être éloignés l'un de l'autre de 32 pieds et 3 pouces, attendu que dans toutes les lunettes astronomiques la distance entre les verres est égale à la somme des deux distances de foyer des verres, comme il est clair par ma lettre précédente.

A présent, pour trouver combien de fois cette lunette grossit, il faut diviser 32 pieds par 3 pouces, et pour cet effet convertir ces 32 pieds en pouces, en les multipliant par 12, ce qui donnera 384 pouces; ensuite on divisera ces 384 pouces par 3, et le quotient 128 marque que la lunette proposée grossit 128 fois, ce qui est sans doute un grossissement très-considérable.

Réciproquement donc, pour construire une lunette qui grossisse un nombre donné de fois, par exemple 100 fois, il faut employer deux verres convexes, dont la distance de foyer de l'un soit 100 fois plus grande que celle de l'autre; alors celui-là donnera l'objectif, et celui-ci l'oculaire. Ensuite il faut disposer ces deux verres sur un même axe, en sorte que leur distance soit égale à la somme des deux dis-

tances de foyer; ou bien on les fixe dans un tuyau de cette longueur, et alors l'œil étant derrière l'oculaire à la distance de son foyer, verra les objets 100 fois plus grands.

On pourra donc remplir cette condition d'une infinité de manières différentes, en prenant un verre oculaire à volonté, et le joignant avec un objectif dont la distance de foyer est 100 fois plus grande. Ainsi, prenant l'oculaire d'un pouce de foyer, l'objectif doit être de 100 pouces de foyer, et la distance des verres 101 pouces. Or, en prenant l'oculaire de 2 pouces de foyer, l'objectif doit avoir son foyer à la distance de 200 pouces, et la distance entre les verres sera de 202 pouces. Si l'on prenait l'oculaire de 3 pouces de foyer, la distance de foyer de l'objectif devrait être de 300 pouces, et la distance entre les verres de 303 pouces. De même, si l'on voulait prendre l'oculaire de 4 pouces de foyer, l'objectif devrait avoir sa distance de foyer de 400 pouces, et la distance entre les verres serait de 404 pouces, et ainsi de suite, en donnant à la lunette une longueur de plus en plus grande. Mais si au contraire on ne donnait à l'oculaire qu'un demi-pouce de foyer, l'objectif devrait avoir 100 demi-pouces, c'est-à-dire, 50 pouces de foyer, et la distance entre les verres ne serait que 50 pouces et demi, ce qui fait un peu plus que 4 pieds. Et si l'on prenait l'oculaire d'un quart de pouce, l'objectif n'aurait que 100 quarts ou 25 pouces, et la distance entre les deux verres, 25 pouces et un quart, ce qui ferait un peu plus que 2 pieds.

Voilà donc plusieurs manières de produire le même grossissement de 100 fois ; et si nous avions la liberté d'en choisir, V. A. n'hésiterait pas certainement de donner la préférence à la dernière, comme la plus courte, où la lunette ne devient que de 2 pieds environ, et est sans doute plus aisée à manier qu'une lunette beaucoup plus longue.

Aussi personne ne balancerait à préférer les lunettes les plus courtes, si toutes les autres circonstances étaient les mêmes, et que toutes ces différentes sortes représentassent les objets avec le même degré de perfection. Mais, quoique toutes produisent le même grossissement, la représentation même n'est pas également nette et claire; la dernière de 2 pieds grossit bien 100 fois comme les autres; mais, en regardant par une telle lunette, les objets paraîtront non-seulement obscurs, mais aussi mal terminés et confus, ce qui est sans doute un très-grand défaut. L'avant-dernière lunette, dont l'objectif est de 50 pouces de foyer, est moins sujette à ces défauts, mais pourtant l'obscurité et la confusion sont encore insupportables : or, ces défauts diminuent à mesure qu'on se sert de plus grands verres objectifs; et ils seront déjà beaucoup moindres, lorsqu'on emploiera un verre objectif de 300 pouces, avec un oculaire de 3 pouces de foyer. Ensuite, en augmentant davantage ces mesures, la représentation devient encore plus nette et plus claire; de sorte qu'à cet égard les longues lunettes sont préférables aux courtes, quoique de l'autre côté elles soient moins commodes.

Cette circonstance m'ouvre une nouvelle carrière, où j'aurai l'honneur d'expliquer à V. A. encore deux articles très-essentiels dans la théorie des lunettes : l'un regarde la clarté ou le degré de lumière dont les objets sont vus, et l'autre la netteté d'expression dont les objets sont représentés. Sans ces deux grandes qualités, tout grossissement, quelque grand qu'il soit, ne nous apporte aucun avantage dans la contemplation des objets.

LETTRE LXXIX.

(1er mars 1762.)

Du degré de clarté.

Pour juger du degré de clarté dont les lunettes nous représentent les objets, je me servirai des mêmes principes que j'ai eu l'honneur d'expliquer à V. A., lorsque j'ai traité le même sujet, par rapport aux microscopes.

Or, je dois d'abord avertir qu'il ne s'agit point dans cette recherche du degré de lumière qui réside dans les objets mêmes, et qui peut être très-différent, tant dans les différents corps, en ce qu'ils sont par leur nature plus ou moins clairs, que dans un même corps en différentes circonstances. Les mêmes corps, lorsqu'ils sont éclairés du soleil, ont sans doute plus de lumière que lorsque le ciel est couvert, et de nuit leur lumière est tout à fait

éteinte; mais aussi différents corps éclairés par la même lumière peuvent différer beaucoup en clarté, selon que leurs couleurs sont plus ou moins vives (1). Il n'est pas ici question de cette lumière ou de cette clarté qui se trouve dans les objets mêmes; mais, soit qu'elle soit forte ou faible, on dit qu'une lunette représente les objets en pleine clarté, lorsque nous les voyons par la lunette aussi clairement que par la vue simple; de sorte que, si l'objet est obscur de lui-même, on ne saurait prétendre que la lunette nous le représente avec éclat.

Ainsi, par rapport à la clarté, une lunette est parfaite lorsqu'elle nous représente les objets avec autant de clarté que si nous les regardions à la vue simple. Or, cela arrive comme dans les microscopes, lorsque toute l'ouverture de la pupille est remplie par les rayons qui viennent de chaque point de l'objet, après avoir été transmis par la lunette. Tant qu'une lunette fournit assez de rayons pour remplir toute l'ouverture de la pupille, on ne saurait désirer plus de clarté; et quand même la lunette en fournirait en plus grande abondance, cela serait inutile, puisqu'il n'en entrerait également point davantage dans l'œil.

Il faut donc ici principalement avoir égard à l'ouverture de la pupille, laquelle étant variable, on ne saurait rien fixer là-dessus, si l'on ne se réglait

(1) Les rayons jaunes sont ceux qui jouissent du plus grand pouvoir éclairant, ou dont la couleur est *la plus vive*, pour employer les expressions du texte. *Voyez* la note sur la lettre III, p. 87.

sur une certaine ouverture; or, on peut bien se contenter, lorsque la pupille, dans l'état de la plus grande contraction, est remplie de rayons; et, par cette raison, on suppose communément le diamètre de la pupille d'une ligne, dont 12 font un pouce; souvent on se contente même de la moitié, en ne donnant à la pupille que la moitié d'une ligne, et quelquefois encore moins.

Si V. A. considère que la lumière du soleil surpasse 300 000 fois celle de la lune, qui est pourtant assez considérable, elle jugera bien qu'une petite diminution dans la clarté n'est pas d'une grande conséquence dans la contemplation des objets. Cela marqué, il ne me reste qu'à examiner les rayons que la lunette transmet dans l'œil, pour les comparer avec la pupille; et il suffira de considérer les rayons qui viennent d'un seul point de l'objet, celui par exemple qui se trouve dans l'axe de la lunette.

I. L'objet étant éloigné à l'infini, les rayons qui en tombent sur la surface du verre objectif PAP (*fig.* 94) sont parallèles entre eux; donc, tous les rayons qui viennent du centre de l'objet seront contenus entre les lignes LP, LP, parallèles à l'axe EA; tous ces rayons ensemble sont nommés le faisceau des rayons qui tombent sur le verre objectif, et l'épaisseur de ce faisceau est égale à l'étendue ou à l'ouverture du verre objectif, dont le diamètre est PAP.

II. Ce faisceau de rayons se change par la réfraction du verre objectif, dans une figure conique ou pointue PFP, et, après s'être croisé dans le foyer F,

forme un nouveau cône *mFm*, terminé par le verre oculaire, où il est évident que la base de ce cône *mm* est autant de fois plus petite que la largeur du faisceau PP, que la distance FB est plus courte que la distance AF.

III. Maintenant ces rayons F*m*, F*m*, en passant par le verre oculaire QBQ, redeviennent de nouveau parallèles entre eux, et forment le faisceau de rayons *no*, *no*, qui entrent dans l'œil, et y dépeignent l'image du point de l'objet d'où ils sont partis originairement.

IV. Tout revient à présent à l'épaisseur de ce faisceau de rayons *no*, *no*, qui entre dans l'œil; et si cette épaisseur *nn* ou *oo* est égale ou plus grande que l'ouverture de la pupille, la pupille en sera remplie, et l'œil jouira de toute la clarté possible, ou bien l'objet paraîtra avec autant de clarté que si on le regardait sans d'autre secours que celui des yeux.

V. Mais si l'épaisseur de ce faisceau *nn* ou *oo* était beaucoup plus petite que la pupille, il est évident que la représentation deviendrait d'autant plus obscure; ce qui serait un grand défaut de la lunette. Donc, pour y remédier, il faut que l'épaisseur de ce faisceau ne soit pas plus petite que la moitié d'une ligne; et il serait bon si elle égalait une ligne entière, puisque c'est l'ouverture ordinaire de la pupille.

VI. Or, il est clair que l'épaisseur de ce faisceau tient un certain rapport à celle du premier faisceau, qu'il n'est pas difficile de déterminer : on n'a qu'à

voir combien de fois l'intervalle *nn* ou *mm* est plus petit que l'intervalle PP, qui est l'ouverture du verre objectif. Or, l'intervalle PP tient à *mm* la même proportion que la distance AF tient à BF, d'où dépend le grossissement; et ainsi le grossissement même nous montre combien de fois le faisceau LP, LP, est plus large que le faisceau *no, no,* qui entre dans l'œil.

VII. Donc, puisque la largeur *nn* ou *oo* doit être une ligne, ou au moins une demi-ligne, l'ouverture du verre objectif PP doit au moins contenir autant de demi-lignes que le grossissement indique; ainsi, quand la lunette doit grossir 100 fois, l'ouverture de son verre objectif doit avoir pour diamètre 100 demi-lignes, ou bien 50 lignes, qui font 4 pouces et 2 lignes (le pouce étant divisé en 12 lignes.)

VIII. Par là V. A. entend que, pour éviter l'obscurité, il faut que l'ouverture de l'objectif soit d'une certaine grandeur, qui doit être d'autant plus grande que le grossissement est grand. Et conséquemment, à moins que le verre objectif qu'on veut employer ne soit susceptible d'une si grande ouverture, la lunette sera défectueuse du côté de la clarté de la représentation.

Maintenant il est assez clair que pour des grands grossissements on ne saurait employer des petits objectifs, ou dont la distance de foyer est trop petite, puisqu'un verre formé par des arcs de petits cercles ne saurait avoir une grande ouverture.

LETTRE LXXX.

(6 mars 1762.)

Sur l'ouverture des objectifs.

V. A. vient de voir que le grossissement déter-
ine la grandeur ou l'étendue du verre objectif,
in que les objets paraissent avec un degré suffi-
ınt de clarté. Cette détermination ne regarde que
grandeur ou l'ouverture de l'objectif; cependant
distance de foyer s'en ressent aussi; de sorte que
lus le verre doit être grand, plus aussi sa distance
e foyer doit être grande.

La raison en est évidente, puisque pour former
n verre dont la distance de foyer est, par exemple,
e deux pouces, ses deux faces doivent être des
cs de cercle dont le rayon est aussi environ de
eux pouces : j'ai donc représenté (*fig.* 95) deux
ls verres P et Q, où les arcs sont décrits avec un
yon de deux pouces. Le verre P, comme il est
lus épais, est bien plus grand que l'autre Q; mais
xpliquerai dans la suite que les verres épais sont
sujettis à d'autres inconvénients, qui sont même
grands qu'il faut renoncer entièrement à leur
sage. Le verre Q sera donc plus propre pour la
ratique, puisqu'il est composé de moindres arcs
u même cercle; et comme sa distance de foyer
st de 2 pouces, son étendue ou ouverture *mn* ne

saurait à peine surpasser un pouce : d'où l'on peut établir cette règle générale, que toujours la distance de foyer d'un verre doit être plus que deux fois plus grande que le diamètre de son étendue *mn*, ou bien l'ouverture d'un verre doit nécessairement être plus petite que la moitié de sa distance de foyer.

Donc, ayant remarqué que, pour grossir 100 fois, l'ouverture de l'objectif doit surpasser 4 pouces, il s'ensuit que la distance de foyer doit surpasser 8 pouces; et je ferai voir bientôt que le double ne suffit pas, et qu'il faut même augmenter la distance de foyer de ce verre au delà de 300 pouces. La netteté d'expression de l'image demande cette grande augmentation, dont je parlerai dans la suite : ici je me contente de remarquer qu'à l'égard de la figure géométrique du verre, l'ouverture ne saurait être plus grande que la moitié de sa distance de foyer.

Je m'étendrai donc ici un peu plus en détail sur l'ouverture de l'objectif que chaque grossissement exige, et je remarque d'abord que quoiqu'un degré suffisant de clarté demande une ouverture de 4 pouces lorsque la lunette doit grossir 100 fois, on se contente, dans les lunettes astronomiques, d'une de 3 pouces, puisque la diminution de clarté en devient peu sensible : de là les artistes ont établi cette règle, que, pour grossir 100 fois, il faut que l'ouverture de l'objectif soit de 3 pouces, et pour les autres grossissements à proportion. Ainsi, pour grossir 50 fois, il suffit que l'ouverture de l'objectif soit d'un pouce et demi ; pour grossir 25 fois, trois quarts d'un

pouce suffisent, et ainsi des autres grossissements.

On voit, par là, que pour les petits grossissements une très-petite ouverture de l'objectif est suffisante, et que par conséquent la distance de foyer peut être très-médiocre. Mais, si l'on veut grossir 200 fois, l'ouverture de l'objectif doit être de 6 pouces où d'un demi-pied; ce qui demande déjà un très-grand verre, dont la distance de foyer doit surpasser même 100 pieds pour obtenir une expression nette et bien déterminée : c'est la raison pourquoi les grands grossissements demandent les lunettes si considérablement longues, au moins selon l'arrangement ordinaire des verres que j'ai l'honneur d'expliquer à V. A; car, depuis quelque temps, on a travaillé avec bien du succès à diminuer cette longueur excessive. Toutefois, l'ouverture de l'objectif doit suivre la règle que je viens d'établir, puisque la clarté en dépend nécessairement.

Ainsi, si l'on voulait faire une lunette qui grossit 400 fois, l'ouverture de l'objectif devrait toujours être de 12 pouces ou d'un pied, quelque petite qu'on pût rendre sa distance de foyer; et si l'on voulait grossir 4000 fois, l'ouverture de l'objectif devrait être de 10 pieds. Ce verre serait donc bien et même trop grand, pour que nos artistes le pussent exécuter; et c'est la principale raison que nous ne saurions espérer de porter jamais le grossissement si loin, à moins qu'un grand prince n'y voulût fournir les dépenses nécessaires pour former et travailler de si grands verres; et encore peut-être n'y réussirait-on point.

Cependant, une lunette qui grossirait 4000 fois nous devrait découvrir bien des merveilles dans le ciel : la lune nous paraîtrait 4000 fois plus grande que nous ne la voyons à la vue simple; ou bien nous verrions la lune tout comme si elle nous était 4000 fois plus proche qu'elle n'est en effet. Voyons donc jusqu'à quel degré nous y pourrions distinguer les différents corps qui s'y trouvent. On estime la distance de la lune de 52000 milles d'Allemagne, dont la 4000e partie fait 13 milles; et ainsi une telle lunette nous ferait voir la lune de la même manière que si nous n'en étions éloignés que de 13 milles, et par conséquent nous y pourrions distinguer les mêmes choses que nous distinguons sur des objets éloignés à la même distance; or, sur une montagne, on peut bien voir d'autres montagnes qui en sont éloignées au delà de 13 milles. Il n'y a donc point de doute que nous ne découvrissions sur la surface de la lune quantité de choses dont nous serions bien surpris; mais, pour décider si la lune est habitée par des créatures semblables à celles de la terre, une distance de 13 milles est encore trop grande; il faudrait avoir, pour cet effet, une lunette qui grossît encore 10 fois davantage, et par conséquent en tout 40000 fois, dont l'objectif devrait avoir une ouverture de 100 pieds, ce que l'adresse des hommes n'exécutera jamais. Mais par une telle lunette nous verrions la lune tout comme si elle n'était pas plus éloignée de nous que l'est Berlin de Spandau, et de bons yeux y pourraient bien voir des

hommes, s'il y en avait; mais pourtant trop peu distinctement pour s'en assurer entièrement.

Comme nous devons nous contenter de souhaits à cet égard, je souhaiterais plutôt tout d'un coup avoir une lunette qui grossît 100 000 fois; alors la lune se présenterait comme si elle n'était éloignée de nous que d'un demi-mille. L'ouverture de l'objectif de cette lunette devrait donc être de 250 pieds, et au moins les grosses bêtes dans la lune nous deviendraient visibles (1).

LETTRE LXXXI.

(9 mars 1762.)

Sur la netteté dans l'expression; sur l'espace de diffusion causée par l'ouverture des objectifs, et considérée comme la première source du défaut de netteté dans la représentation.

La netteté dans l'expression est un article si important entre les qualités d'une lunette, qu'il semble l'emporter sur tous les autres dont j'ai eu déjà l'honneur de rendre compte à V. A., puisque tout le monde convient qu'une lunette qui ne re-

(1) On sait que la lune n'a pas d'atmosphère, ou qu'elle n'a qu'une atmosphère d'une extrême rareté; on sait pareillement qu'il n'existe pas de grands amas d'eaux à sa surface. Par conséquent, on est certain que des espèces végétales ou animales, analogues à celles qui peuplent la surface terrestre, n'y pourraient vivre.

présente pas nettement les images des objets est fort défectueuse. Je dois donc principalement expliquer les sources de ce défaut de netteté, afin qu'on puisse ensuite penser avec d'autant plus de succès sur les moyens d'y remédier.

Ces sources paraissent d'autant plus cachées, que les principes que j'ai établis jusqu'ici n'en découvrent point l'origine; et en effet, ce défaut vient de ce qu'un des principes dont je me suis servi jusqu'ici n'est point vrai à la rigueur, quoiqu'il ne s'écarte que très-peu de la vérité.

V. A. se souvient que j'ai posé pour principe qu'un verre convexe rassemble dans un point de l'image tous les rayons qui partent d'un point de l'objet : si cela était vrai à la rigueur, les images représentées par les verres seraient aussi bien terminées que l'objet même, et il n'y aurait point à craindre de défaut de ce côté.

Voilà maintenant en quoi consiste la défectuosité de ce principe : les verres n'ont cette propriété que je leur ai supposée, qu'autour de leur milieu; les rayons qui passent vers les bords d'un verre se rassemblent dans un autre point que ceux qui passent vers le milieu du verre, quoique tous viennent d'un même point de l'objet, et de là naissent deux images différentes qui troublent la netteté.

Pour mettre cela dans tout son jour, considérons le verre convexe PP (*fig.* 96, *Pl.* IV), sur l'axe duquel se trouve l'objet E*e*, dont le point E, situé dans l'axe, envoie les rayons EN, EM, EA, EM, EN, sur la surface du verre; et c'est sur la route de ces

ıyons, changés par la réfraction, qu'il faut fixer no-
e attention.

I. D'abord le rayon EA, qui passe par le milieu du verre, n'en souffre aucune réfraction, et con-
nue sa route dans la même direction sur la li-
ne ABF.

II. Les rayons EM et EM, fort proches de celui-
ı, souffriront une petite réfraction par laquelle ils
: réunissent quelque part en F avec l'axe, où est le
eu de l'image F*f*, dont j'avais parlé dans mes pre-
ıiers entretiens sur cette matière.

III. Les rayons EN et EN, qui sont plus éloignés
e l'axe EA, et qui passent vers les bords NN du
erre, souffrent une réfraction un peu différente,
ui les réunit, non dans le point F, mais dans un
utre point G plus proche du verre; et ces rayons
əprésenteront une autre image G*g*, différente de la
remière F*f*.

IV. Remarquons donc bien cette circonstance
›ute particulière, à laquelle je n'ai pas fait attention
uparavant : c'est que les rayons qui passent par le
erre vers ses bords, représentent une autre image
g que ceux qui passent par le milieu MAM du
erre.

V. Si les rayons EN, EN s'éloignaient encore plus
u milieu A, et qu'ils passassent par les extrémités
ıêmes P et P du verre, leur réunion s'approcherait
ıcore davantage du verre, et formerait une nou-
əlle image plus proche du verre que ne l'est G*g*.

VI. De là V. A. jugera aisément que la première
nage F*f*, qu'on nomme la principale, n'est formée

que par les rayons qui sont presque infiniment proches du milieu A; et dès que les rayons s'en écartent vers les bords du verre, il s'en est formé une image particulière plus proche du verre, jusqu'à ce que ceux qui passent près les bords en forment la dernière *Gg*.

VII. Donc, en effet, tous les rayons qui passent par le verre PP représentent une infinité d'images disposées entre F*f* et G*g*, et à chaque distance de l'axe la réfraction du verre produit une image particulière, de sorte que l'espace entre F et G est rempli d'une file d'images.

VIII. Cette file d'images est aussi nommée la diffusion de l'image; et quand tous ces rayons entrent ensuite dans quelque œil, il est naturel que la vision en sera d'autant plus troublée, que l'espace FG par lequel l'image est répandue est plus considérable: si cet espace FG se réduisait à rien, aucune confusion ou défaut de netteté ne serait à craindre.

IX. Plus les arcs PAP et PBP sont de grandes parties des cercles dont ils sont pris, plus aussi l'espace de diffusion FG est grand; et de là V. A. comprend pourquoi il faut rejeter tous les verres trop épais, où ces arcs qui forment les faces du verre sont des parties considérables de cercles; comme dans la *fig.* 97, où les arcs PAP et PBP sont la quatrième partie de la circonférence entière, de sorte que chacun contient 90 degrés, ce qui par conséquent produirait une confusion insupportable.

X. Il faut donc que les arcs qui forment les fa-

d'un verre contiennent beaucoup moins que
legrés; s'ils en contenaient 60, la diffusion de
age serait encore insupportable. Les auteurs qui
écrit sur cette matière ne veulent admettre que
legrés tout au plus, et il y en a qui se bornent à
legrés. Un tel verre est représenté dans la *fig.* 98,
les arcs PAP et PBP ne contiennent que 20 de-
;, chacun n'étant que la 18e partie de la circon-
nce entière d'où ils sont pris.

I. Mais si ce verre doit tenir lieu d'un objectif
s une lunette, il faut que les arcs PAP et PBP
tiennent encore beaucoup moins de degrés: car,
ique la diffusion de l'image soit insensible en
-même, le grossissement la multiplie autant de
que l'objet même. Et ainsi, plus le grossisse-
it est grand, plus doit être petit le nombre de
rés que les faces embrassent.

II. Quand la lunette doit grossir 100 fois, V. A.
ouvient que l'ouverture PP de l'objectif doit
de 3 pouces, et sa distance de foyer 360 pou-
qui est égale aux rayons dont les deux arcs
' et PBP sont décrits; d'où il s'ensuit que cha-
de ces deux arcs ne contient qu'un demi-de-
et c'est la netteté dans l'expression qui exige
si petite mesure: si l'on voulait grossir 200 fois,
demi-degré serait encore trop, et alors la me-
: des arcs ne devrait pas surpasser le tiers d'un
·é. Cependant cet arc doit recevoir une étendue
5 pouces; ainsi le rayon du cercle doit être
itant plus grand, et par conséquent aussi la
ance de foyer. C'est la véritable raison pour-

quoi les grands grossissements demandent des lunettes si considérablement longues.

LETTRE LXXXII.

(19 mars 1762.)

De la diminution de l'ouverture des verres, et des autres moyens de diminuer l'espace de diffusion, et de le réduire même à rien.

Lorsque l'espace de diffusion d'un verre objectif est trop grand pour que le défaut dans la netteté de l'image qui en résulte soit supportable, rien n'est plus aisé que de remédier à ce défaut : on n'a qu'à couvrir le verre d'un cercle de carton percé d'un trou vers le centre, de sorte que le verre ne puisse transmettre d'autres rayons que ceux qui y tombent par le trou, et que ceux qui passaient auparavant par les bords du verre en soient exclus; car, puisqu'à présent il n'y a que les rayons qui sont transmis vers le milieu du verre, l'espace de diffusion sera d'autant plus petit, plus le trou est petit; et par ce moyen, en diminuant le trou, on peut rendre l'espace de diffusion aussi petit qu'on voudra.

Il en est alors de même que si le verre n'était pas plus grand que le trou; ainsi la partie couverte par le carton devient inutile, et c'est le trou qui détermine l'ouverture du verre : aussi se sert-on de ce

remède pour donner aux verres objectifs autant d'ouverture que l'on juge à propos.

Dans la *fig.* 99, PP est le verre objectif devant lequel est placé le carton NN percé du trou MM; et maintenant on dit que ce trou MM est l'ouverture du verre. Cette ouverture MM est ici à peu près la moitié de ce qu'elle serait si l'on ôtait le carton, et ainsi l'espace de diffusion est beaucoup plus petit : on remarque que l'espace de diffusion pour ce cas-ci n'est que le quart de celui d'auparavant; un moindre trou MM, qui ne serait que le tiers de PP, rendrait l'espace de diffusion 9 fois plus petit : ainsi l'effet de ce remède est très-considérable, et, pour peu qu'on couvre les bords d'un verre, l'effet en devient très-sensible.

Si donc une lunette a le défaut que les objets ne paraissent pas assez nets, puisqu'une file d'images qui se confondent ensemble doit nécessairement produire une confusion, alors on n'a qu'à rétrécir l'ouverture du verre objectif par un tel carton, et cette confusion s'évanouira infailliblement. Mais on tombe dans un autre défaut qui n'est pas moins fâcheux, c'est que le degré de clarté en devient diminué : V. A. se souvient que chaque grossissement exige une certaine ouverture de l'objectif, afin qu'il y soit transmis autant de rayons qu'il en faut pour nous procurer une clarté suffisante; il est donc bien fâcheux qu'en remédiant à un défaut, on s'expose à un autre; et il faut absolument qu'une bonne lunette fournisse assez de clarté, sans nuire à la netteté dans la représentation des objets.

Mais n'y aurait-il pas moyen de diminuer, ou de réduire même à rien l'espace de diffusion des verres objectifs, sans en diminuer l'ouverture? Voilà la grande question à laquelle on travaille depuis quelque temps, et dont la solution nous promet les plus grands progrès dans la dioptrique. J'aurai donc l'honneur d'expliquer à V. A. les moyens que les savants ont imaginés pour arriver à ce but.

Comme le foyer des rayons qui passent par le milieu d'un verre convexe est plus éloigné du verre que le foyer des rayons qui passent vers les bords, on a remarqué que les verres concaves produisent un effet contraire; ce qui a occasionné cette recherche, s'il ne serait pas possible de combiner un verre convexe avec un verre concave, de façon que l'espace de diffusion fût entièrement anéanti, et que d'ailleurs un tel verre composé produisît le même effet qu'un objectif ordinaire simple. V. A. sait que les verres concaves sont aussi bien mesurés par leur distance de foyer; que les verres convexes avec cette différence que le foyer des concaves n'est qu'imaginaire, et tombe devant le verre, pendant que le foyer des verres convexes est réel, et tombe derrière eux. Cela remarqué, on raisonne de la manière suivante :

I. Si l'on place derrière un verre convexe PAP (*fig.* 100) un verre concave QBQ de la même distance de foyer, les rayons que le verre convexe réuniraient dans son foyer seront réfractés par le verre concave, de sorte qu'ils redeviennent parallèles

entre eux, tout comme ils l'étaient avant que de passer par le verre convexe.

II. Dans ce cas donc, le verre concave détruit l'effet du verre convexe, et il en est de même que si les rayons continuaient leur route naturelle sans avoir éprouvé aucune réfraction : car le verre concave ayant son foyer au même point F, rétablit dans le parallélisme les rayons qui voudraient concourir au point F.

III. Si la distance de foyer du verre concave était plus petite que celle du verre convexe, il produirait un plus grand effet, et rendrait les rayons divergents comme dans la *fig.* 101 ; les rayons incidents parallèles LM, EA, LM, en passant par les deux verres, prennent les routes NO, BF, NO, qui sont divergentes entre elles. Ces deux verres ensemble produisent donc le même effet qu'un certain verre concave simple, qui imprimerait aux rayons incidents parallèles la même divergence. Donc, deux tels verres joints ensemble, dont le concave a une plus petite distance de foyer que le convexe, sont équivalents à un seul verre concave.

IV. Mais si le verre concave QQ (*fig.* 102) a une plus grande distance de foyer que le verre convexe PP, il n'est pas même suffisant de rendre parallèles entre eux les rayons que le seul verre convexe voudrait réunir dans son foyer F : ces rayons demeureront donc convergents, mais leur convergence sera diminuée par le verre concave, en sorte qu'au lieu de se réunir en F, les rayons se réuniront dans un point O plus éloigné.

V. Ces deux verres joints ensemble produiront donc le même effet qu'un seul verre convexe simple qui aurait son foyer en O, puisqu'un tel verre réunirait les rayons parallèles LM, EA, LM, également dans le même point : d'où il est clair qu'il est possible de combiner d'une infinité de manières deux verres, l'un convexe et l'autre concave, de sorte que leur combinaison soit équivalente à un verre convexe donné.

VI. Un tel verre objectif double pourra donc être employé dans les lunettes, au lieu d'un simple auquel il est équivalent, et l'effet par rapport au grossissement sera tout à fait le même. Or, l'espace de diffusion sera tout à fait différent, et il peut arriver qu'il soit ou plus grand ou plus petit que celui d'un objectif simple; et, dans ce dernier cas, l'objectif double sera bien préférable au simple.

VII. Mais il y a plus : on a trouvé qu'il est possible de faire de tels arrangements de deux verres, où l'espace de diffusion est tout à fait réduit à rien, ce qui est sans doute le cas le plus avantageux pour la perfection des lunettes. Le calcul nous découvre ces arrangements, mais les artistes ne sont pas encore assez habiles pour les exécuter.

LETTRE LXXXIII.

(16 mars 1762.)

Des objectifs composés.

ne telle combinaison de deux verres, dont je s de donner une idée à V. A., est nommée un *ctif composé*, dont le but est que tous les rayons, ceux qui passent par le milieu du verre que : qui passent par les bords, soient réunis dans seul point, de sorte qu'il ne s'y forme qu'une ; image sans aucune diffusion, comme il arrive ; les objectifs simples. Si les artistes réussissaient ; cette construction, on en retirerait les plus ds avantages. J'en rendrai compte à V. A.

'abord il est évident que la représentation des ts doit être beaucoup plus nette et mieux termi- puisque la vision n'est plus troublée par l'ap- ion de cette file d'images qui occupent l'espace iffusion lorsque l'objectif est simple.

ısuite, puisque cet espace de diffusion est l'u- e raison qui nous oblige de donner aux objec- simples une si excessive distance de foyer, pour re insensible le fâcheux effet qui en résulte, en loyant de tels objectifs composés, nous ne nes plus réduits à cet expédient incommode, ous pourrons faire des lunettes incomparable- t plus courtes, qui produisent le même grossis- ent.

Lorsqu'on veut grossir 100 fois en employant un objectif simple, sa distance de foyer ne saurait être plus petite que de 30 pieds, et la longueur de la lunette devient encore plus grande à cause du verre oculaire, dont la distance de foyer y doit être ajoutée; un moindre objectif produirait, à cause de son plus grand espace de diffusion, une confusion insupportable. Or, une longueur de 30 pieds est non-seulement très-incommode, mais aussi les artistes réussissent rarement à former des verres d'une si grande distance de foyer. V. A. en comprendra aisément la raison, puisque le rayon des faces de ce verre doit être aussi de 30 pieds : or, il est très-difficile de décrire exactement un si grand cercle, et la moindre aberration rend tout le travail inutile.

De tels accidents ne sont pas à craindre dans la construction des verres objectifs composés, qui peuvent être formés de plus petits cercles, pourvu qu'ils soient susceptibles de l'ouverture que le grossissement exige. Ainsi, pour grossir 100 fois, nous avons vu que l'ouverture de l'objectif doit être de 3 pouces; or, on pourra bien construire un objectif composé dont la distance de foyer ne serait que de 100 pouces, et qui admettrait une ouverture de plus de 3 pouces; donc, puisque la distance de foyer de l'oculaire doit être 100 fois plus petite, elle serait d'un pouce; et l'intervalle entre les verres devant être la somme de leurs distances de foyer, la longueur de la lunette ne serait que 101 pouces, qui sont 8 pieds et 5 pouces, qui est bien plus petite que celle de 30 pieds.

Mais il semble qu'un tel objectif composé, dont le foyer serait à 50 pouces, pourrait aussi bien admettre encore une ouverture de 3 pouces et même au delà; donc, prenant l'oculaire d'un demi-pouce de foyer, on obtiendra le même grossissement de 100 fois, et la longueur de la lunette serait réduite à la moitié, c'est-à-dire à 4 pieds et presque 3 pouces. Une telle lunette produirait donc le même effet qu'une ordinaire de 30 pieds, ce qui est sans doute le plus grand avantage qu'on puisse souhaiter.

Si un tel objectif composé réussissait, on n'aurait qu'à doubler toutes les mesures pour en avoir un qui admît une ouverture de 6 pouces; et celui-ci pourrait être employé à grossir 200 fois, en se servant d'un oculaire d'un demi-pouce de foyer, comme la deux centième partie de la distance de foyer de l'objectif, qui serait dans ce cas de 100 pouces. Or, une lunette ordinaire qui grossit 200 fois surpasse la longueur de 100 pieds, pendant que celle qui est faite avec un objectif composé ne contient qu'environ 8 pieds, et peut être employée très-commodément dans la pratique; au lieu qu'une lunette de 100 pieds est un fardeau presque entièrement inutile.

Mais on pourrait bien pousser la chose beaucoup plus loin, et doubler encore les mesures, pour avoir un objectif composé dont la distance de foyer fût de 200 pouces, ou de 16 pieds et 8 pouces, qui admette une ouverture de 12 pouces ou d'un pied : alors, prenant un oculaire d'un demi-pouce de foyer, puisque 200 pouces contiennent 400 demi-pouces,

on aura une lunette qui grossira 400 fois, et qui sera encore très-bien traitable, étant au-dessous de 17 pieds, pendant que si l'on voulait produire le même grossissement par un verre objectif simple, la longueur de la lunette devrait surpasser 300 pieds; mais une telle lunette ne serait certainement d'aucun usage à cause de sa prodigieuse longueur.

A Paris on a une lunette de 120 pieds, et à Londres une de 130 pieds; mais les terribles difficultés de les monter et de les diriger anéantissent presque les avantages qu'on s'en était promis. De là V. A. jugera aisément combien il serait important si l'on réussissait dans la construction de ces objectifs composés dont je viens de parler. J'en avais donné les premières idées il y a plusieurs années, et depuis ce temps les plus habiles artistes en Angleterre et en France travaillent à les exécuter; la chose demande bien des essais, et une grande adresse de la part de l'ouvrier; et quoique j'aie fait faire par le mécanicien de notre Académie quelques essais non sans succès, les dépenses qu'une telle entreprise exige m'ont obligé d'y renoncer.

Mais, l'année passée, la Société des sciences à Londres a annoncé qu'un très-habile artiste, nommé Dollond, en était venu heureusement à bout; et maintenant on admire partout ses lunettes. A Paris, un aussi habile artiste, nommé Passement, se vante d'un pareil succès: l'un et l'autre m'a fait l'honneur autrefois d'entretenir une correspondance avec moi sur cette matière; mais puisqu'il s'agissait principalement de surmonter quelques grands obstacles dans

la pratique, ce dont je ne m'étais jamais mêlé, il est bien juste que je leur abandonne la gloire de la découverte; ce n'est que la partie théorétique qui m'appartient, et qui m'a coûté des recherches bien profondes et des calculs des plus pénibles, dont V. A. serait effrayée à la seule vue : ainsi je me garderai bien de l'entretenir sur cette matière épineuse.

LETTRE LXXXIV.

(20 mars 1762.)

De la formation des objectifs simples.

Pour donner cependant à V. A. quelque idée des recherches qui m'ont conduit à la construction des objectifs composés, je dois commencer par la formation des verres simples. Je remarque que les deux faces d'un verre peuvent être formées d'une infinité de manières différentes, en prenant les cercles dont les faces sont des parties, ou égaux ou inégaux entre eux, de sorte pourtant que la distance de foyer demeure toujours la même.

Ordinairement on donne aux deux faces d'un verre la même figure, ou bien, comme on représente les faces des verres par des arcs de cercles, on fait les deux faces des rayons égaux entre eux. La commodité dans l'exécution a sans doute recommandé cette figure, puisqu'on peut se servir du même bassin pour y former l'une et l'autre face, et

la plupart des ouvriers n'est pourvue que d'un petit nombre de bassins.

Supposons donc un verre convexe, dont les deux faces soient travaillées sur un même bassin de 24 pouces de rayon, de sorte que chaque face soit un arc d'un cercle dont le rayon soit de 24 pouces, un tel verre est nommé également convexe des deux côtés, et il aura son foyer à la distance de 24 pouces, comme on l'estime communément : mais comme le foyer dépend de la réfraction, et que la réfraction n'est absolument pas la même dans toutes les espèces de verres où se trouve une diversité assez considérable selon que le verre est plus ou moins blanc et dur, cette estime du foyer n'est pas juste à la rigueur, et ordinairement la distance de foyer du verre est un peu moindre que le rayon de ces deux faces, tantôt de la dixième partie, tantôt de la douzième : ainsi le verre que je viens de supposer, et dont les rayons de chaque face sont de 24 pouces, aura son foyer à une distance de 22 pouces environ, s'il est travaillé de la même sorte de verre dont on fait communément les miroirs, quoiqu'on rencontre aussi dans cette espèce de verres une petite diversité par rapport à la réfraction.

Maintenant, je remarque qu'en faisant les deux faces du verre inégales, on peut former une infinité d'autres verres qui ont tous la même distance de foyer ; car en prenant le rayon d'une face plus petit que de 24 pouces, on prendra le rayon de l'autre face d'autant plus grand, selon une certaine proportion ; et toujours on peut prendre le rayon

d'une face à volonté, et, par le moyen d'une certaine règle, trouver le rayon de l'autre face, afin que la distance de foyer devienne la même que si l'une et l'autre face avait 24 pouces de rayon. La table suivante offre plusieurs verres pareils, qui ont tous la même distance de foyer.

Verres........		I,	II,	III,	IV,	V,	VI,	VII,	VIII,	IX.
Rayons de la	1re face..	24,	21,	20,	18,	16,	15,	14,	13,	12.
	2e face..	24,	28,	30,	36,	48,	60,	84,	156,	infini.

Dans la dernière forme le rayon d'une face n'est que de 12 pouces, ou la moitié de 24 pouces; mais le rayon de l'autre devient infini, ou bien cette face est un arc d'un cercle infiniment grand; et comme un tel arc ne diffère plus d'une ligne droite, cette face sera plane, et ce verre plano-convexe.

Si nous voulions prendre le rayon d'une face encore plus petit que de 12 pouces, l'autre face doit être faite concave, et le verre deviendra convexo-concave, et portera alors le nom de ménisque, dont voici aussi plusieurs figures :

Ménisque.......		X,	XI,	XII,	XIII,	XIV,	XV,	XVI.
Rayons de la face	convexe.	11,	10,	9,	8,	6,	4,	3.
	concave.	132,	60,	36,	24,	12,	6,	4.

Voilà donc encore une nouvelle espèce de verres dont la dernière est représentée dans la *fig.* 103, de sorte que nous avons ici 16 espèces différentes, qui ont toutes leurs foyers à la même distance, qui

sera environ de 22 pouces, ou un peu plus ou moins, selon la nature du verre.

Donc, quand il n'est question que de la distance de foyer que le verre doit avoir, il est indifférent selon laquelle de ces formes on le veuille travailler; mais il s'y trouve une très-grande différence dans l'espace de diffusion auquel chaque espèce est assujettie, cet espace devenant dans les unes plus petit que dans les autres. Quand on veut employer un verre objectif simple, comme à l'ordinaire, il n'est plus indifférent de quelle espèce on tire sa figure : celle-là sera sans doute la plus préférable, qui produit le plus petit espace de diffusion. Or, cette belle propriété ne convient pas à la première espèce, où les deux faces sont égales, mais à peu près à la VIIe espèce, qui est douée de cette prérogative, que lorsqu'on tourne vers l'objet sa face plus convexe, ou celle dont le rayon est plus petit, alors l'espace de diffusion se trouve environ de la moitié plus petit que si le verre était également convexe des deux côtés; c'est donc la figure la plus avantageuse qu'il faut donner aux verres objectifs simples, et aussi les praticiens sont d'accord là-dessus.

De là il est clair que, pour juger de l'espace de diffusion de quelque verre, il ne suffit pas d'en connaître la distance de foyer, mais il faut savoir son espèce, c'est-à-dire, les rayons de l'une et de l'autre face, et encore bien distinguer laquelle est tournée vers l'objet.

Après cette explication, je remarque que, pour

chercher la combinaison de deux verres qui ne produisent aucune diffusion d'image, il faut absolument tenir compte de la figure des deux faces de chaque verre, et qu'on a ce problème à résoudre : *Quels doivent être les rayons des faces des deux verres, afin que l'espace de diffusion soit réduit à rien?* La solution de cette question demande les plus profondes recherches de la plus sublime géométrie; mais, après en être venu à bout, l'artiste trouve encore bien des difficultés à surmonter : il lui faut donner aux bassins précisément la même courbure que le calcul a enseignée, et cela n'est pas encore suffisant; car, pendant qu'on travaille le verre sur le bassin pour lui en faire prendre la figure, le bassin même en souffre aussi à son tour: on est donc obligé de rectifier la figure du bassin de temps en temps, et cela avec la plus grande justesse. Dès qu'on manque dans toutes ces précautions, on ne saurait se promettre un heureux succès; aussi est-il bien difficile d'empêcher que le verre ne prenne une figure un peu différente de celle du bassin : d'où V. A. jugera aisément combien il doit être difficile de porter à sa perfection cet important article de la dioptrique.

LETTRE LXXXV.

(23 mars 1762.)

Seconde source du défaut de netteté dans la représentation faite par les lunettes. Sur la différente réfrangibilité des rayons.

V. A. vient de voir de quelle manière on doit remédier à l'inconvénient que les rayons qui passent par les bords d'un verre ne se réunissent pas dans le même point dans lequel sont réunis ceux qui passent par son milieu, de sorte qu'il en naît une infinité d'images dispersées par l'espace de diffusion. Mais cet inconvénient n'est pas le seul auquel les verres soient assujettis ; il y en a encore un autre, qui est d'autant plus important qu'il semble impossible d'y remédier, parce que la cause ne se trouve pas dans le verre, mais dans la nature des rayons mêmes.

V. A. se souvient qu'il règne une grande variété dans les rayons, par rapport aux diverses couleurs dont ils nous impriment le sentiment : j'ai comparé cette diversité avec celle qu'on trouve dans les tons, ayant établi pour principe que chaque couleur est attachée à un certain nombre de vibrations. Mais quand même cette explication paraîtrait encore douteuse, il est toujours très-certain que les rayons des diverses couleurs souffrent aussi de différentes réfractions, en passant d'un milieu transparent

dans un autre : ainsi les rayons rouges souffrent la moindre réfraction, et les violets la plus grande, quoique la différence soit presque imperceptible. Or, toutes les autres couleurs, comme l'orange, le jaune, le vert et le bleu, sont, à l'égard de la réfraction, contenues entre ces deux limites. Il faut aussi remarquer que le blanc est un mélange de toutes ces couleurs, qui, par la réfraction, se séparent les unes des autres.

En effet, quand (*fig.* 104) on fait tomber obliquement un rayon blanc OP, ou un rayon de soleil, sur un morceau de verre ABCD, au lieu de continuer sa route suivant sa direction PQ, non-seulement il en est détourné, mais il se partage encore en plusieurs rayons P*r*, P*s*, P*t*, P*v*, dont le premier P*r*, qui est le moins détourné, représente la couleur rouge, et le dernier P*v*, qui est le plus détourné, la couleur violette. La dispersion *rv* est bien plus petite que ne le représente la figure cependant leur divergence devient de plus en plus sensible.

De cette différente réfrangibilité des rayons, selon leurs diverses couleurs, naissent les phénomènes suivants par rapport aux verres dioptriques :

I. Soit PP (*fig.* 105) un verre convexe, sur l'axe duquel OR se trouve dans un très-grand éloignement AO, l'objet O*o* dont il s'agit de déterminer l'image représentée par le verre, en faisant ici abstraction de la première irrégularité qui regarde la diffusion, ou bien, ce qui revient au même, en ne considérant ici que les rayons qui passent par le milieu du verre AB, tout comme sises bords étaient couverts d'un carton.

II. Supposons maintenant que l'objet O*o* soit rouge, de sorte que tous ses rayons aussi soient de la même nature, le verre en représentera quelque part l'image R*r* également rouge; alors on nomme le point R le foyer des rayons rouges, ou de ceux qui souffrent la moindre réfraction.

III. Mais si l'objet O*o* est violet, puisque les rayons de cette couleur souffrent la plus grande réfraction, l'image V*v* sera plus proche du verre que la précédente R*r*; ce point V est nommé le foyer des rayons violets.

IV. Si l'objet était teint de quelque autre couleur, moyenne entre la rouge et la violette, l'image tomberait entre les lieux R et V, et serait toujours bien nette, et terminée par la droite *o*B, tirée de l'extrémité de l'objet *o* par le milieu du verre, cette règle étant générale pour toutes les couleurs.

V. Mais si la couleur de l'objet n'est pas pure, comme il arrive presque dans tous les corps, ou que l'objet O*o* soit blanc, ce qui est un mélange de toutes les couleurs, alors les diverses espèces de rayons sont séparées par la réfraction, et chacune représentera une image à part. Celle qui est formée par les rayons rouges se trouvera en R*r*, et celle qui est formée par les rayons violets, en V*v*; or, tout l'espace RV sera rempli par les images des couleurs moyennes.

VI. De chaque objet donc O*o*, le verre PP représentera une infinité d'images, disposées par le petit espace RV, dont la plus éloignée du verre R*r* est rouge, et la plus proche V*v* violette, et les moyennes,

des couleurs moyennes, selon l'ordre des couleurs que nous voyons dans l'arc-en-ciel.

VII. Chacune de ces images sera bien nette en elle-même, et toutes sont terminées par la ligne droite *oBvr*, tirée de l'extrémité de l'objet *o* par le milieu du verre B. Mais toutes ensemble ne sauraient être vues sans une confusion assez sensible.

VIII. De là naît donc aussi un espace de diffusion comme dans la première irrégularité, mais qui en diffère en ce que celui-ci est indépendant de l'ouverture du verre, et que chaque image est teinte d'une couleur particulière.

IX. Cet espace de diffusion RV dépend de la distance de foyer du verre, de sorte qu'il en est toujours environ la 28e partie; ainsi, quand la distance de foyer du verre PP est de 28 pieds, l'espace RV devient égal à un pied entier, ou bien la distance entre l'image rouge R*r* et la violette V*v* est d'un pied. Si la distance de foyer était deux fois plus grande ou de 56 pieds, l'espace RV serait de 2 pieds, et ainsi des autres.

X. De là l'estime de la distance de foyer d'un verre devient incertaine, puisque les rayons de chaque couleur ont leur foyer à part; et quand on parle du foyer d'un verre, il faudrait toujours s'expliquer de quelle couleur on l'entend. Mais communément on l'entend des rayons d'une nature moyenne entre le rouge et le violet, et qui répond à la couleur verte.

XI. Ainsi, quand on dit, sans s'expliquer davantage, que la distance de foyer de tel verre est, par exemple, de 56 pieds, il faut entendre que c'est

l'image verte qui tombe à cette distance; l'image rouge tombera alors d'un pied environ plus loin, et la violette d'un pied plus près.

Voilà donc une nouvelle circonstance bien essentielle, à laquelle il faut avoir égard dans les instruments dioptriques.

LETTRE LXXXVI.

(27 mars 1762.)

Sur un moyen de remédier à ce défaut, en employant des objectifs composés de verre et d'eau.

Il faut bien distinguer cette nouvelle diffusion ou multiplication de l'image qui vient de la diverse réfrangibilité des rayons, en ce qu'ils sont de différentes couleurs, de la précédente qui provenait de l'ouverture du verre, et de ce que les rayons qui passent près des bords forment une autre image que ceux qui passent par son milieu. Aussi faut-il remédier à ce nouvel inconvénient d'une tout autre façon qu'au premier.

V. A. voudra bien se souvenir que j'ai proposé deux moyens pour remédier à l'inconvénient précédent : l'un consistait dans l'agrandissement de la distance de foyer, pour diminuer la courbure des faces du verre; ce remède nous avait conduit à des lunettes si extrêmement longues, lorsqu'on souhaitait un grand grossissement. L'autre remède consistait dans la combinaison de deux verres, l'un convexe et l'autre concave, pour tempérer la réfraction,

de façon que tous les rayons transmis par les verres se réunissent dans le même point, et que l'espace de diffusion fût réduit à rien.

Mais ni l'un ni l'autre de ces remèdes ne nous apporte aucun secours dans ce nouvel inconvénient, causé par la différente réfrangibilité des rayons. Le premier produit même un effet tout contraire, puisque plus on augmente la distance de foyer du verre, plus l'espace par lequel les images colorées sont dispersées devient considérable; la combinaison de deux ou plusieurs verres n'est pas non plus d'aucun secours, et on a trouvé, tant par l'expérience que par la théorie, que les images de différentes couleurs demeurent toujours séparées, quelque grand que soit le nombre des verres par lesquels on fait passer les rayons, et que la différence devient d'autant plus grande que la lunette doit grossir davantage.

Cette circonstance a tellement effrayé le grand Newton, qu'il a désespéré de remédier à ce défaut, qu'il croyait absolument inséparable de tous les instruments dioptriques où la vision se fait par des rayons réfractés. Par cette raison, il a pris le parti de renoncer entièrement à la réfraction, et a formé le dessein d'employer des miroirs au lieu des verres objectifs, puisque la réflexion est toujours la même pour tous les rayons : cette idée nous a procuré ensuite ces excellents télescopes à réflexion dont on admire les effets surprenants, et dont je parlerai exprès une autre fois, quand j'aurai rapporté tout ce qui regarde les instruments à réfraction.

Lorsque j'ai été convaincu qu'il était impossible de remédier à la diverse réfrangibilité des rayons par la combinaison de plusieurs verres, j'ai remarqué que la raison en est fondée sur la loi de réfraction, qui est la même dans toutes les espèces de verres; et je me suis aperçu que si l'on pouvait employer d'autres matières transparentes, dont la réfraction fût assez considérablement différente de celle du verre, il serait bien possible de combiner une telle matière avec le verre, de sorte que tous les différents rayons se réunissent à former une seule image, sans qu'il y eût un espace de diffusion. J'ai ensuite mieux suivi cette idée, et j'ai trouvé moyen de composer de verre et d'eau des objectifs tout à fait délivrés de l'effet de la diverse réfrangibilité des rayons, qui par conséquent devraient produire un aussi bon effet que les miroirs de Newton.

Or, j'ai exécuté cette idée par deux ménisques ou verres concavo-convexes (*fig.* 106), dont l'un est AACC, et l'autre BBCC, que j'ai joints ensemble par leurs faces concaves, en remplissant d'eau le vide qui restait entre elles, de sorte que les rayons qui sont entrés par le verre AACC doivent traverser l'eau contenue entre les deux verres, avant de sortir par l'autre verre CCBB. Chaque rayon souffre donc quatre réfractions : la première, en entrant de l'air dans le verre AACC; la seconde, en passant de ce verre dans l'eau; la troisième, en passant de l'autre verre CCBB; la quatrième, en sortant de ce verre dans l'air.

Comme les quatre faces de ces deux verres en-

trent ici en considération, j'ai trouvé moyen d'en déterminer les demi-diamètres, en sorte que, de quelque couleur que soit un rayon de lumière après avoir souffert ces quatre réfractions, il se réunit dans le même point, et que la diverse réfrangibilité ne produise plus de diverses images.

Ces objectifs, composés de deux verres et d'eau, tombaient trop d'abord dans le premier inconvénient, que les rayons qui passent près des bords forment un autre foyer que ceux qui passent par le milieu; mais, après des recherches bien pénibles, j'ai trouvé moyen de proportionner les rayons des quatre faces de façon que ces objectifs composés dussent être délivrés tout à la fois des inconvénients de l'une et de l'autre classe. Mais il fallait pour cela si exactement exécuter toutes les mesures prescrites par le calcul, que la moindre aberration faisait échouer tous les avantages qu'on en attendait, de sorte que je ne voulus plus insister sur la construction de ces objectifs.

D'ailleurs ce projet ne remédierait qu'aux inconvénients qui sont à craindre de la part du verre objectif, et le verre oculaire ne manquerait pas de produire un effet pareillement fâcheux, auquel il n'est pas possible de remédier de la même manière. Souvent aussi on se sert de plusieurs oculaires pour construire des lunettes, comme j'aurai l'honneur de l'expliquer dans la suite; et ainsi on ne gagnerait pas grand'chose si l'on s'arrêtait trop scrupuleusement au seul objectif, en négligeant les autres verres, quoique leur effet soit peu sensible par rapport à celui de l'objectif.

Mais, quelques peines que m'aient coûté ces recherches, je dois avouer franchement que je renonce à présent entièrement à la construction de tels objectifs, composés de verres et d'eau, non-seulement à cause de leur exécution trop embarrassée, mais aussi parce que j'ai découvert depuis d'autres moyens, non pas de détruire l'effet de la diverse réfrangibilité des rayons, mais de le rendre insensible; sur quoi j'aurai l'honneur d'entretenir V. A. l'ordinaire prochain.

LETTRE LXXXVII.

(30 mars 1762.)

Sur un autre moyen plus praticable pour remédier à ce défaut.

Lorsque les télescopes à réflexion sont venus en vogue, on a tellement décrié les lunettes à réfraction, qu'on devait croire qu'elles ne mériteraient plus d'autre sort que d'être rejetées entièrement. Aussi depuis ce temps a-t-on négligé tout à fait leur construction, dans la ferme persuasion que tous les soins qu'on se donnerait aussi pour les perfectionner seraient inutiles, attendu que le grand Newton avait démontré que les effets fâcheux de la diverse réfrangibilité des rayons étaient absolument inséparables de la construction des lunettes.

Selon ce sentiment, toutes les lunettes ne nous sauraient représenter les objets qu'avec une confu-

sion insupportable, et cela d'autant plus que le grossissement serait plus grand. Cependant, quoiqu'on trouve des lunettes extrêmement défectueuses à cet égard, on en trouve aussi quelquefois de très-bonnes, qui ne cèdent en rien aux télescopes à réflexion tant vantés. C'est sans doute un très-grand paradoxe; car, si ce défaut qu'on reproche aux lunettes était bien fondé, on n'en devrait trouver aucune qui en fût exempte; par conséquent cette exception, dont l'expérience nous assure, mérite toute notre attention.

Il s'agit donc d'approfondir la véritable raison pourquoi quelques lunettes représentent assez nettement les objets, pendant que d'autres ne sont que trop assujetties au défaut causé par la différente réfrangibilité des rayons. Je crois en avoir découvert la raison, et je vais la proposer à V. A. par les réflexions suivantes:

I. Il est très-certain que le verre objectif représente une infinité d'images de chaque objet, qui toutes se trouvent rangées sur l'espace de diffusion, et dont chacune est teinte de sa propre couleur, comme je l'ai prouvé dans ma lettre précédente.

II. Chacune de ces images devient un objet par rapport au verre oculaire qui en représente chacune séparément avec la couleur qui lui est propre, de sorte que l'œil découvre par la lunette une infinité d'images disposées dans un certain ordre, selon la réfraction des verres.

III. Et si, au lieu d'un verre oculaire, on en emploie plusieurs, il arrivera toujours la même chose,

et au lieu d'une image, la lunette en représentera à l'œil une infinité, ou bien une file d'images dont chacune exprime à part l'objet, mais d'une couleur particulière.

IV. Considérons donc les dernières images que la lunette offre à l'œil placé en O (*fig.* 107); et soit R*r* l'image rouge, et V*v* la violette, celles des autres couleurs se trouvant entre ces deux selon l'ordre de leur différente réfrangibilité. Dans cette figure je n'ai pas indiqué les verres de la lunette, puisqu'il s'agit uniquement de quelle manière l'œil voit ces images. Il faut seulement envisager la distance de l'œil O de ces images comme très-grande.

V. Toutes ces images R*r* et V*v*, avec les moyennes, sont donc situées sur l'axe de la lunette ORV, et terminées par une certaine ligne droite *rv*, qui est nommée la terminatrice de toutes les images.

VI. Comme j'ai représenté ces images dans la figure, l'image rouge R*r* est vue par l'œil en O sous l'angle RO*r*, qui est plus grand que l'angle VO*v*, sous lequel est vue l'image violette V*v*. Donc, les rayons violets qui entrent de l'image V*v* dans l'œil se mêlent avec les rouges qui viennent de la partie R*n* de l'image rouge R*r*.

VII. Par conséquent l'œil ne saurait voir l'image violette sans un mélange de rayons d'autres couleurs, mais qui répondent à différents points de l'objet même; ainsi le point *n* de l'image rouge est confondu dans l'œil avec l'extrémité *v* de l'image violette, d'où doit naître une grande confusion.

VIII. Or, le rayon *r*O n'étant point mêlé par d'au-

tres, l'extrémité vue paraîtra rouge, ou bien l'image vue semblera bordée de rouge, qui se mêle ensuite avec les autres couleurs successivement, de sorte que l'objet paraîtra bordé des couleurs d'iris; ce qui est un défaut très-commun dans les lunettes, auquel cependant quelques-unes sont moins sujettes que d'autres.

IX. Si la plus grande image R*r* était la violette et V*v* la rouge, la confusion serait également insupportable; avec cette seule différence que les extrémités de l'objet paraîtraient alors bordées de violet au lieu de rouge.

X. La confusion dépend donc de la position de la droite terminatrice *rv* par rapport à la ligne VO, et de la diversité qui y peut avoir lieu; d'où il arrivera que la confusion sera tantôt plus grande, tantôt plus petite.

XI. Considérons maintenant le cas où les dernières images représentées par la lunette sont tellement arrangées, que la droite terminatrice *vr* étant prolongée, passe précisément dans l'œil. Alors l'œil verra par un seul rayon *vr*O (*fig.* 108) toutes les extrémités des images; et en général tous les points qui répondent à un même point de l'objet seront portés dans l'œil par un seul rayon; et par conséquent ils y seront représentés distinctement.

XII. Voilà donc le cas où il peut arriver que, nonobstant la diversité des images, l'œil voie l'objet distinctement, sans que diverses parties en soient confondues ensemble, comme il est arrivé dans le cas précédent. Ce cas avantageux a donc lieu lors-

que la ligne terminatrice *vr*, étant prolongée, passe par le lieu de l'œil O.

XIII. Comme l'arrangement des dernières images B*r* et V*v* dépend de la disposition des verres oculaires, pour délivrer les lunettes du défaut qu'on leur reproche, il ne s'agit que d'arranger ces verres en sorte que la ligne terminatrice des dernières images *vr* passe par l'œil; et les lunettes où cela arrive seront toujours excellentes (1).

(1) La coloration irisée des images formées au foyer d'une lentille, coloration due à ce que les rayons dont la réunion forme la lumière blanche ont des réfrangibilités différentes, est ce qu'on nomme l'*aberration de réfrangibilité*. Les appareils lenticulaires, construits de manière que l'iris ne se produise pas, ou soit peu sensible, sont dits *achromatiques*.

Si les indices de réfraction pour les différents rayons colorés qui composent la lumière blanche, en variant d'une substance réfringente à une autre, variaient proportionnellement, l'achromatisme serait impossible. C'est la conclusion que Newton avait tirée d'expériences qui établissaient, suivant lui, cette proportionnalité. Mais, par un accident singulier, ce grand expérimentateur s'était trompé. Son erreur, quoique relevée, dit-on, par un Anglais nommé Hall, faisait toujours loi, lorsque Euler, guidé par cette considération que, *dans nos yeux, les différentes humeurs s'y trouvent arrangées en sorte qu'il n'en résulte aucune diffusion du foyer*, conçut l'idée d'imiter la nature, en formant, par une combinaison de verres et de liquides intermédiaires, un appareil achromatique. Son mémoire sur ce sujet fait partie de ceux de l'Académie de Berlin, pour 1747.

Dès que le mémoire d'Euler eut paru, Jean Dollond, célèbre opticien de Londres, voulut soumettre sa théorie à l'expérience, et les résultats ne le satisfirent point. Une discussion s'entama, et il ne reconnut que plus tard, vers 1755, par une expérience directe, l'inexactitude du principe sur lequel Newton s'était

fondé. Une fois fixé sur ce point, Dollond ne tarda pas à imaginer cette combinaison de deux verres inégalement réfringents, le *flint-glass* et le *crown-glass*, sur laquelle repose la réalisation artificielle de l'achromatisme. L'invention de Dollond date de 1758. Elle ne devait pas tarder à occuper tous les physiciens et les géomètres du continent. Euler lui-même, dans sa *Dioptrique*, et dans des mémoires postérieurs à la publication de ses *Lettres*, a abandonné ses premières idées pour appliquer l'analyse à la découverte de Dollond.

Rigoureusement, avec deux verres, on ne détruit l'aberration de réfrangibilité que pour deux rayons; on la détruirait pour trois rayons en employant trois verres, et ainsi de suite. Il faudrait donc employer une infinité de verres pour faire concorder les foyers de tous les rayons, en nombre infini, dont se compose la lumière blanche. Cela revient à dire que l'achromatisme est impossible, dans la rigueur mathématique; mais on fait en sorte d'accorder un certain nombre de rayons, de manière que les écarts des rayons intermédiaires soient peu sensibles, et n'aient que peu d'inconvénients dans la pratique.

LETTRE LXXXVIII.

(3 avril 1762.)

Récapitulation de toutes les qualités qu'une bonne lunette doit avoir.

En rassemblant ce que j'ai expliqué jusqu'ici, V. A. conviendra aisément que c'est une chose bien rare et très-précieuse qu'une lunette excellente à tous égards, et qui ne soit assujettie à aucun défaut, puisqu'il faut avoir égard à tant de circonstances, dont chacune influe très-essentiellement

sur la construction des bonnes lunettes. Comme le nombre des bonnes qualités est considérable, afin qu'aucune n'échappe à notre attention, il sera bon de les mettre ici toutes à la fois devant les yeux de V. A.

I. La première qualité regarde le grossissement; et plus une lunette grossit les objets, plus elle est sans doute parfaite, pourvu qu'aucune des autres bonnes qualités n'y manque. Or, le grossissement se juge par le nombre de fois que le diamètre des objets paraît plus grand qu'à la vue simple : V. A. se souviendra que cela arrive autant de fois dans les lunettes à deux verres, que la distance de foyer du verre objectif surpasse celle de l'óculaire. Dans les lunettes à plusieurs verres ce jugement est plus embarrassé.

II. La seconde qualité d'une bonne lunette est la clarté. Une lunette est toujours fort défectueuse lorsqu'elle représente les objets obscurément, ou comme dans un brouillard. Pour éviter cet inconvénient, il faut que le verre objectif ait une ouverture suffisante, dont la mesure se règle sur le grossissement. Les artistes ont établi cette règle, que, pour grossir 300 fois, le diamètre de l'ouverture de l'objectif doit être de trois pouces, et pour tout autre grossissement, à proportion. Or, lorsque les objets ne sont pas fort lumineux d'eux-mêmes, il est bon de donner à l'objectif encore une plus grande ouverture que selon cette règle.

III. La troisième qualité consiste dans la distinction ou netteté de la représentation. Pour cet effet,

l faut que les rayons qui passent par les bords de 'objectif se réunissent au même point que ceux qui passent par le milieu, ou que du moins l'aberration ne soit pas sensible. Quand on se sert d'un objectif simple, il faut que sa distance de foyer surpasse une certaine limite, qui se rapporte au grossissement. Ainsi, quand on veut grossir 100 fois, il faut que la distance de foyer de l'objectif soit de 30 pieds au moins; de sorte que c'est la distinction qui nous impose la nécessité de faire des lunettes si excessivement longues, lorsqu'on demande un très-grand grossissement. Or, pour remédier à cet inconvénient, on peut se servir d'un objectif composé de deux verres; et si les artistes réussissaient dans leur construction, on serait en état de raccourcir les lunettes très-considérablement pour le même grossissement. A cette occasion V. A. voudra bien se souvenir de ce que j'ai eu l'honneur de dire fort au long sur ce sujet.

IV. La quatrième qualité regarde aussi la netteté ou la pureté de la représentation, en tant qu'elle est troublée par la diverse réfrangibilité des rayons de différentes couleurs. J'ai fait voir de quelle manière il est possible de remédier à cet inconvénient; et comme il est impossible que les images formées par les différents rayons soient réunies dans une seule, il s'agit d'arranger les verres d'une certaine manière que j'ai expliquée dans ma lettre précédente; c'est-à-dire que la ligne terminatrice des dernières images passe par l'œil. A moins que cela n'arrive, la lunette aura le défaut de représenter les

objets environnés des couleurs d'iris, et ce défaut s'évanouit quand on arrange les verres de la manière démontrée. Or, pour cet effet, il faut employer plus que deux verres, afin qu'on ait le pouvoir de les arranger comme il faut. Jusqu'ici je n'ai parlé que des lunettes composées de deux verres, dont l'un est l'objectif et l'autre l'oculaire; et V. A. sait que leur éloignement est déjà déterminé par les distances des foyers, de sorte qu'on n'est plus le maître d'y rien changer. Cependant il arrive heureusement que la ligne terminatrice dont j'ai parlé passe à peu près par le lieu de l'œil; de sorte que le défaut des couleurs d'iris n'est presque point sensible, pourvu qu'on ait remédié au défaut précédent, surtout quand le grossissement n'est pas très-grand. Mais dans les très-grands grossissements il est bon d'employer deux verres oculaires pour anéantir entièrement les couleurs d'iris, puisque dans ce cas les moindres défauts, étant également grossis, deviennent insupportables.

V. La cinquième et la dernière bonne qualité des lunettes est un grand champ apparent, ou l'espace que la lunette nous découvre à la fois. V. A. se souvient que les petites lorgnettes de poche à un oculaire concave ont le défaut d'un trop petit champ, qui les rend incapables de grossir beaucoup. L'autre espèce, qui a l'oculaire convexe, est moins assujettie à ce défaut; mais comme celle-ci représente les objets renversés, les lunettes de la première espèce seraient pourtant beaucoup meilleures, si elles nous découvraient un plus grand champ. Or, ce

champ dépend de l'ouverture du verre oculaire, et V. A. comprend aisément qu'on ne saurait augmenter cette ouverture à volonté, attendu qu'elle est déjà déterminée par sa distance de foyer. Or, en employant deux ou trois ou même plusieurs verres oculaires, on a trouvé moyen de rendre le champ apparent plus grand; et c'est une nouvelle raison qui demande plusieurs verres, pour construire des lunettes qui soient bonnes à tous égards.

A ces bonnes qualités on pourrait encore ajouter celle-ci, que la représentation ne soit pas renversée, comme il arrive dans les lunettes astronomiques; mais il est aisé de remédier à ce défaut, si c'en est un, en ajoutant encore deux verres oculaires, comme j'aurai l'honneur de l'exposer l'ordinaire prochain.

LETTRE LXXXIX.

(6 avril 1762.)

Sur les lunettes terrestres à quatre verres.

Je me suis arrêté bien longtemps aux lunettes composées de deux verres convexes, qui sont connues sous le nom de tubes astronomiques, puisqu'on s'en sert communément pour observer les étoiles.

V. A. comprendra aisément pourquoi l'usage de ces instruments, quelque excellents qu'ils soient,

se borne uniquement au ciel : la raison en est, puisqu'ils représentent les objets dans une situation renversée, ce qui devient effectivement un grand défaut, lorsqu'on veut contempler des objets terrestres que nous voudrions voir dans leur situation naturelle. Or, après la découverte de cette espèce de lunettes, on a trouvé bientôt moyen de remédier à ce défaut, en doublant pour ainsi dire la même lunette. Car, puisque deux verres renversent les objets ou représentent leurs images renversées, on n'a qu'à regarder ces mêmes images encore par une telle lunette composée de deux verres, pour les renverser encore une fois, et alors cette seconde représentation nous offrira les objets debout. De là naît une nouvelle espèce de lunettes, composées de quatre verres, qu'on nomme des *lunettes terrestres*, puisqu'elles sont destinées à contempler les objets terrestres. Voici leur construction (*fig.* 109) :

I. Les quatre verres A, B, C, D, enchâssés dans le tuyau MMNN, représentent la lunette en question, dont le premier A dirigé vers les objets est nommé l'objectif, et les trois autres B, C, D, les oculaires. Tous ces quatre verres sont convexes, et l'œil doit être placé au bout du tuyau dans une certaine distance du dernier oculaire D, dont j'expliquerai la détermination dans la suite.

II. Considérons les effets que chaque verre doit produire quand l'objet O*o*, qu'on regarde par la lunette, se trouve à une distance fort grande : d'abord le verre objectif représentera l'image de cet objet P*p* à la distance de son foyer, dont la gran-

deur est déterminée par la ligne droite tirée de l'extrémité *o*, par le milieu du verre A : cette ligne n'est pas exprimée dans la figure, pour ne la pas trop charger de lignes.

III. Cette image P*p* tient lieu de l'objet par rapport au second verre B, qu'on place de sorte que l'intervalle BP soit égal à sa distance de foyer, afin que la seconde image en soit transportée à l'infini comme en Q*q*, qui sera renversée comme la première P*p*, et terminée par la ligne droite tirée du milieu du verre B par l'extrémité *p*.

IV. L'intervalle entre ces deux premiers verres AB est donc égal à la somme de leurs distances de foyer; et si l'on tenait l'œil derrière le verre B, on aurait une lunette astronomique par laquelle on verrait l'objet O*o* en Q*q*, et conséquemment renversé et grossi autant de fois que la distance AP surpasse la distance BP. Mais au lieu de l'œil, on place derrière le verre B, à quelque distance, le troisième verre C, par rapport auquel l'image Q*q* tient lieu de l'objet, puisqu'il reçoit effectivement les rayons de cette image Q*q*, laquelle se trouvant à une très-grande distance, le verre C en représentera l'image à sa distance de foyer en R*r*.

V. Maintenant l'image Q*q* étant à rebours, cette nouvelle image R*r* sera debout, et terminée par la ligne droite qu'on tirerait de l'extrémité *q* par le milieu du verre C, laquelle passerait par le point *r*. Par conséquent, les trois verres A, B, C ensemble représentent l'objet O*o* en R*r*, et cette image R*r* est debout.

VI. Enfin, on n'a qu'à placer le dernier verre de façon que l'intervalle DR soit égal à sa distance de foyer; ce verre éloignera encore l'image R*r* à l'infini, comme en S*s*, dont l'extrémité *s* sera déterminée par la ligne droite qu'on tirerait du milieu du verre D par l'extrémité *r;* et l'œil placé derrière ce verre verra effectivement l'image S*s* au lieu du véritable objet O*o*.

VII. De là il est aisé de juger combien de fois cette lunette composée de quatre verres doit grossir les objets : on n'a qu'à avoir égard aux deux couples de verres AB et CD, dont chacune, séparément, serait une lunette astronomique. La première paire de verres A et B grossit autant de fois que la distance de foyer du premier verre A surpasse celle du second verre B; et c'est autant de fois que l'image qui en est formée Q*q* est plus grande que le véritable objet O*o*.

VIII. Ensuite cette image Q*q* tenant lieu de l'objet par rapport à l'autre paire de verres C et D, elle sera encore multipliée autant de fois que la distance du verre C surpasse celle du verre D. Ces deux grossissements joints ensemble fournissent le vrai grossissement que tous les quatre verres produisent.

IX. Ainsi, si la première paire de verres A et B grossissait 10 fois, et l'autre paire de verres C et D trois fois, la lunette grossirait 3 fois 10 fois, c'est-à-dire 30 fois les objets; et l'ouverture du verre objectif A doit répondre à ce grossissement, selon la règle que j'ai établie ci-dessus.

X. De là V. A. voit que si l'on ôte d'une lunette

terrestre les deux derniers verres C et D, on aura une lunette astronomique, et que les deux verres C et D représentent aussi une telle lunette, de sorte qu'une lunette terrestre est composée de deux lunettes astronomiques : réciproquement donc aussi, deux lunettes astronomiques jointes ensemble produisent une lunette terrestre.

Cette construction est donc susceptible d'une infinité de variations, dont les unes sont préférables aux autres, comme j'aurai l'honneur de l'expliquer dans la suite.

LETTRE XC.

(10 avril 1762.)

Sur l'arrangement des verres dans les lunettes terrestres.

V. A. vient de voir comment, en ajoutant à une lunette astronomique encore deux verres convexes, il en résulte une lunette terrestre qui nous représente les objets debout. Or, ces quatre verres dont une lunette terrestre est composée sont susceptibles d'une infinité d'arrangements différents, tant par rapport à leurs distances qu'à leurs foyers. Je vais expliquer (*fig.* 110) ceux qui sont les plus essentiels.

I. Par rapport à leurs distances, j'ai déjà remarqué que celle des deux premiers verres A, B, est la somme de leurs distances de foyer, de même que

celle des deux derniers verres C, D : l'une et l'autre paire pouvant être regardée comme une lunette simple, composée de deux verres convexes. Mais quelle doit être la distance entre les deux verres du milieu B, C ? Serait-elle bien permise à notre bon plaisir, puisqu'il est certain que, soit qu'on la prenne plus grande ou plus petite, le grossissement, qui est toujours composé des deux grossissements que chaque paire produirait séparément, demeure le même ?

II. Or, à ne consulter que l'expérience, on apercevra bientôt qu'en approchant beaucoup les deux verres du milieu, le champ apparent s'évanouit presque tout à fait, et que le même inconvénient se manifeste quand on fait cette distance très-grande. Dans l'un et l'autre cas, quand on dirige la lunette vers un objet quelconque, on n'en découvre qu'une très-petite partie.

III. Par cette raison, les artistes se servent de cet expédient : ils approchent ou éloignent la dernière paire de verres de la première, jusqu'à ce qu'ils découvrent le plus grand champ ; et après avoir trouvé cette situation, ils y fixent les verres. Or, ils ont observé que dans cet arrangement, le plus avantageux, la distance des verres du milieu B, C, est toujours plus grande que la somme des distances de foyer de ces deux verres B et C.

IV. V. A. jugera aisément que cette distance ne dépend point d'un pur hasard, mais qu'elle tire sa détermination de la théorie, et cela beaucoup plus exactement que par la seule expérience. Or, c'est

le devoir d'un physicien de rechercher la cause de tous les phénomènes que l'expérience nous découvre. Je vais donc exposer les vrais principes qui nous fournissent la distance la plus avantageuse BC entre les deux verres du milieu. Voyez *fig.* 111.

V. Puisque tous les rayons doivent être conduits à l'œil, considérons la route du rayon qui, venant de l'extrémité *o* de l'objet visible, passe par le milieu A du verre objectif; car, à moins que ce rayon ne soit conduit dans l'œil, cette extrémité *o* ne sera pas visible. Or, ce rayon ne souffre aucune réfraction dans le verre objectif, parce qu'il passe par son milieu A; il continuera par conséquent sa route en ligne droite jusqu'au second verre, qu'il rencontrera à son extrémité *b*, puisque c'est le dernier rayon transmis par les verres.

VI. Ce rayon étant rompu par le second verre, changera de route, en sorte qu'il rencontrera quelque part en *n* l'axe des verres : cela arriverait dans le foyer de ce verre, si auparavant le rayon A*b* avait été parallèle à l'axe; mais, puisqu'il sort du point A, sa réunion avec l'axe en *n* sera plus éloignée du verre B que sa distance de foyer.

VII. Maintenant il faut placer le troisième verre C en sorte que le rayon, après avoir traversé l'axe en *n*, rencontre le verre C précisément dans son extrémité *c*; d'où l'on voit que plus l'ouverture de ce verre C est grande, plus on le doit reculer du verre B, et plus la distance BC devient grande; mais, de l'autre côté, il faut bien se garder d'éloigner le verre C au delà, puisque alors le rayon lui échap-

celle des deux derniers verres C, D : l'une et l'autre paire pouvant être regardée comme une lunette simple, composée de deux verres convexes. Mais quelle doit être la distance entre les deux verres du milieu B, C ? Serait-elle bien permise à notre bon plaisir, puisqu'il est certain que, soit qu'on la prenne plus grande ou plus petite, le grossissement, qui est toujours composé des deux grossissements que chaque paire produirait séparément, demeure le même ?

II. Or, à ne consulter que l'expérience, on apercevra bientôt qu'en approchant beaucoup les deux verres du milieu, le champ apparent s'évanouit presque tout à fait, et que le même inconvénient se manifeste quand on fait cette distance très-grande. Dans l'un et l'autre cas, quand on dirige la lunette vers un objet quelconque, on n'en découvre qu'une très-petite partie.

III. Par cette raison, les artistes se servent de cet expédient : ils approchent ou éloignent la dernière paire de verres de la première, jusqu'à ce qu'ils découvrent le plus grand champ ; et après avoir trouvé cette situation, ils y fixent les verres. Or, ils ont observé que dans cet arrangement, le plus avantageux, la distance des verres du milieu B, C, est toujours plus grande que la somme des distances de foyer de ces deux verres B et C.

IV. V. A. jugera aisément que cette distance ne dépend point d'un pur hasard, mais qu'elle tire sa détermination de la théorie, et cela beaucoup plus exactement que par la seule expérience. Or, c'est

devoir d'un physicien de rechercher la cause de us les phénomènes que l'expérience nous découvre. vais donc exposer les vrais principes qui nous urnissent la distance la plus avantageuse BC entre s deux verres du milieu. Voyez *fig.* 111.

V. Puisque tous les rayons doivent être conduits l'œil, considérons la route du rayon qui, venant l'extrémité *o* de l'objet visible, passe par le mi- eu A du verre objectif; car, à moins que ce rayon soit conduit dans l'œil, cette extrémité *o* ne sera is visible. Or, ce rayon ne souffre aucune réfraction ıns le verre objectif, parce qu'il passe par son mi- eu A; il continuera par conséquent sa route en gne droite jusqu'au second verre, qu'il rencontrera son extrémité *b*, puisque c'est le dernier rayon ansmis par les verres.

VI. Ce rayon étant rompu par le second verre, ıangera de route, en sorte qu'il rencontrera quel- ue part en *n* l'axe des verres : cela arriverait dans foyer de ce verre, si auparavant le rayon A*b* avait é parallèle à l'axe; mais, puisqu'il sort du point A, réunion avec l'axe en *n* sera plus éloignée du erre B que sa distance de foyer.

VII. Maintenant il faut placer le troisième verre en sorte que le rayon, après avoir traversé l'axe n *n*, rencontre le verre C précisément dans son xtrémité *c*; d'où l'on voit que plus l'ouverture de e verre C est grande, plus on le doit reculer du erre B, et plus la distance BC devient grande; mais, e l'autre côté, il faut bien se garder d'éloigner le erre C au delà, puisque alors le rayon lui échap-

perait, et ne serait plus transmis par ce verre : c'est donc cette circonstance qui détermine la juste distance entre les deux verres du milieu BC, conformément à l'expérience.

VIII. Le troisième verre C produira une nouvelle réfraction dans notre rayon, qui le doit conduire précisément à l'extrémité *d* du dernier oculaire D, lequel étant plus petit que le troisième C, la ligne *cd* sera un peu convergente vers l'axe, et ainsi souffrira dans le dernier verre une telle réfraction, qu'il en est réuni avec l'axe à une moindre distance que son foyer; et c'est précisément là qu'il faut placer l'œil, pour recevoir tous les rayons transmis par les verres, et y découvrir le plus grand champ.

IX. Par ce moyen, on est en état de nous procurer un champ dont le diamètre est presque deux fois plus grand que dans les lunettes astronomiques du même grossissement. Ainsi, par ces lunettes à quatre verres on obtient, outre l'avantage que les objets sont représentés debout, encore celui d'un plus grand champ, ce qui est d'une très-grande conséquence.

X. Enfin, il est possible de trouver un tel arrangement entre ces quatre verres, que, sans porter aucune atteinte aux avantages dont je viens de parler, les couleurs d'iris s'évanouissent entièrement, et que les objets y sont représentés avec la plus grande netteté. Mais peu d'artistes sont capables d'atteindre à ce degré de perfection.

LETTRE XCI.

(13 avril 1762.)

Sur quelques précautions à observer dans la construction des lunettes; de la nécessité de bien noircir l'intérieur des tubes, et sur les diaphragmes.

Après ces recherches sur la construction des lunettes, je dois rendre compte à V. A. de quelques précautions très-nécessaires, qui, quoiqu'elles ne regardent ni les verres mêmes, ni leur arrangement, ne laissent pas d'être de la plus grande importance; de sorte que si l'on ne les observe pas très-soigneusement, la meilleure lunette devient tout à fait inutile. Il ne suffit pas d'arranger les verres de façon que tous les rayons qui y tombent soient transmis au travers de ces verres dans l'œil, il faut, outre cela, empêcher que les rayons étrangers ne soient aussi transmis par la lunette, afin qu'ils ne troublent point la représentation. Pour cet effet, il faut prendre les précautions suivantes :

I. D'abord les verres dont une lunette est composée doivent être enfermés dans un tuyau, afin que d'autres rayons que ceux qui sont transmis par l'objectif ne puissent parvenir aux autres verres. Pour cet effet, le tuyau doit être partout bien fermé, afin qu'aucune lumière n'y puisse entrer par quelque fente. Si par quelque accident il arrive que les tuyaux soient percés d'un trou, la lumière

étrangère qui y entre étoufferait la représentation des objets.

II. Il est aussi fort important que l'intérieur du tuyau soit partout bien noirci, et même d'un noir très-foncé, puisqu'on sait que la couleur noire ne réfléchit point de rayons, quelque forte que soit la lumière qui y tombe. Aussi V. A. aura déjà observé que les tuyaux des lunettes sont noircis en dedans. Une seule réflexion en fera voir la nécessité.

III. L'objectif (*fig.* 112) ne transmet pas seulement les rayons des objets que la lunette nous représente, mais aussi ceux des côtés qui y entrent tout autour en grande abondance; tel est le rayon *ha*, qui tombe en dedans sur la paroi du tuyau en *i*; donc, si le tuyau était en dedans blanc ou d'une autre couleur, il en serait éclairé, et engendrerait par lui-même de nouveaux rayons de lumière qui ne manqueraient pas de traverser les autres verres et de troubler la vision, en se mêlant avec les propres rayons des objets.

IV. Mais si l'intérieur du tuyau est teint d'un noir bien foncé, il ne s'y forme point de nouveaux rayons, quelque éclairé qu'il puisse être. Cette noirceur est nécessaire par toute la longueur du tuyau, puisqu'il n'y a point de noir si foncé qui, étant éclairé, n'engendre quelque faible lumière; et ainsi, quand même quelques rayons étrangers passeraient par le second verre B, le noir du tuyau suivant les éteindrait aisément tout à fait. On a aussi un noir brillant, dont il faut bien se garder de se servir.

V. Mais ordinairement cette précaution n'est pas

encore suffisante, on est encore obligé de garnir l'intérieur du tuyau d'un ou de quelques diaphragmes percés d'un petit trou, pour d'autant mieux arrêter la fausse lumière; mais il faut bien prendre garde que ces diaphragmes n'excluent point les rayons des objets que la lunette nous doit représenter (*fig.* 113).

VI. Il faut voir où les propres rayons des objets se trouvent le plus rétrécis dans le tuyau; or, cela arrive dans le lieu où les images sont représentées dans le tuyau, puisque là tous les rayons sont réunis ensemble. Or, le verre objectif A représente l'image dans son foyer en M; on n'a donc qu'à estimer la grandeur de cette image, et y mettre un diaphragme dont le trou *mm* lui soit égal, ou tant soit peu plus grand. Car, si le trou était plus petit que l'image, on perdrait sur le champ apparent, ce qui serait un grand défaut.

VII. C'est donc ce qu'il y aurait à observer sur le diaphragme, dans les lunettes astronomiques composées de deux verres convexes. Dans les lunettes terrestres, il se trouve deux images représentées dans le tuyau; outre la première en M représentée par l'objectif dans son foyer, et que le second verre B transporte à l'infini, le troisième verre C représente encore une image dans son foyer N qui est debout, celle-là étant renversée. C'est donc en N qu'il convient de placer encore un nouveau diaphragme percé d'un trou *nn*, de la grandeur de l'image qui s'y trouve.

VIII. Ces diaphragmes, avec le noir de l'intérieur

du tuyau, produisent aussi un très-bon effet dans la netteté de l'apparition. Cependant il faut bien observer que, plus le champ que la lunette découvre est grand, moins on pourra s'attendre à ces diaphragmes, puisqu'alors les images deviennent plus grandes; de sorte que les trous des diaphragmes doivent être si grands, qu'ils ne sauraient plus arrêter les faux rayons. Mais alors il faut d'autant plus soigneusement bien noircir l'intérieur du tuyau, et le faire plus large; ce qui diminue beaucoup l'effet fâcheux dont je viens de parler.

LETTRE XCII.

(17 avril 1762.)

Comment les lunettes nous représentent la lune, les planètes, le soleil, et les étoiles fixes; pourquoi ces dernières nous paraissent plus petites par les lunettes qu'à la vue simple. Estime de la distance des étoiles fixes, en comparant leurs grandeurs apparentes avec celle du soleil.

Je ne doute pas que V. A. ne soit fort aise de se voir enfin délivrée de la sèche théorie des lunettes, qui n'a presque point d'autre agrément que celui de mener aux grandes découvertes qu'on a faites par leur secours.

Qu'il est surprenant de voir les objets fort éloignés aussi bien que s'ils nous étaient cent et plusieurs fois plus proches, surtout lorsqu'il nous est

impossible de nous en approcher, comme cela arrive par rapport aux objets célestes! et V. A. tombera aisément d'accord qu'à l'aide des lunettes on a dû découvrir dans les étoiles des choses bien merveilleuses.

A voir la lune cent fois plus proche qu'elle n'est effectivement, on y observera des inégalités très-curieuses, comme des vallées et des hauteurs excessives, qui ressemblent plutôt, par leur régularité, à des ouvrages construits à dessein, qu'à des montagnes. D'où l'on tire un argument bien fort, pour prouver que la lune est habitée par des créatures raisonnables, quoique la seule contemplation de la toute-puissance, jointe à la souveraine sagesse et bonté du Créateur, nous en fournisse de plus convaincants.

De la même manière on a fait les plus importantes découvertes sur les planètes, qui, à la simple vue, ne paraissent que comme des points lumineux, mais qui, regardées à travers de bonnes lunettes, ressemblent à la lune, et paraissent même encore beaucoup plus grandes.

Par rapport aux étoiles fixes, V. A. ne sera pas peu surprise quand j'aurai l'honneur de l'assurer que, même par la meilleure lunette qui grossit plus que 200 fois, ces étoiles ne laissent pas de nous paraître comme des points, et même encore plus petites qu'à la vue simple; ce qui est d'autant plus surprenant, qu'il est certain que la lunette nous les représente telles que nous les verrions si nous en étions 200 fois plus près. N'en devrait-on pas

conclure que les lunettes perdent leur qualité à l'égard des étoiles fixes? Mais cette pensée s'évanouit bientôt, quand on considère que les lunettes nous découvrent des millions de petites étoiles qui échapperaient entièrement aux yeux sans leur secours. Aussi voyons-nous les intervalles qui se trouvent entre les étoiles incomparablement plus grands; et deux étoiles, qui à la vue simple paraissent presque se toucher, n'ont besoin que d'être regardées à travers la lunette, pour que l'on remarque entre elles une distance considérable; ce qui prouve suffisamment l'effet de la lunette.

Mais quelle est donc la raison qui fait que les étoiles fixes, ainsi regardées, nous paraissent encore plus petites qu'à la vue simple? Pour répondre à cette question, je remarque d'abord qu'à la vue simple les étoiles fixes nous paraissent plus grandes qu'elles ne devraient, et que cela vient d'une fausse lumière qui s'y mêle, causée par leur éclat. En effet, quand les rayons qui partent d'une étoile viennent en peindre l'image au fond de l'œil sur la rétine, nos nerfs n'en sont frappés que dans un point; mais par l'éclat de la lumière les nerfs voisins en sont aussi ébranlés, et produisent le même sentiment que l'on éprouverait si l'image de l'objet dépeint sur la rétine était beaucoup plus grande. Il en arrive autant, si nous regardons de nuit une lumière fort éloignée. Elle nous paraît aussi beaucoup plus grande, et même plus que si nous la voyions de près : cet agrandissement n'est causé que par une fausse lueur. Or, plus une lunette grossit, plus cet

cident doit diminuer, tant parce que les rayons uffrent quelque affaiblissement, que parce que véritable image sur le fond de l'œil devient plus ande; de sorte que ce n'est plus un seul point ui soutient toute l'impression des rayons. Donc, uelque petites que nous paraissent les étoiles à avers une lunette, on peut prononcer hardiment u'à la vue simple elles nous paraîtraient encore eaucoup plus petites, sans la fausse lumière accientelle, et cela autant de fois que la lunette grossit.
De là il s'ensuit que, puisque les étoiles fixes ne raissent que comme des points, malgré qu'elles oient grossies 200 fois, leur éloignement doit être torbitant. Il sera fort aisé à V. A. de comprendre omment on peut estimer cette distance. Le diaiètre du soleil nous paraît sous un angle de 32 inutes; donc, si le soleil était 32 fois plus éloigné, paraîtrait sous un angle d'une minute, et ainsi icore beaucoup plus grand qu'une étoile vue par lunette, dont le diamètre n'excède pas deux seondes, ou la 30e partie d'une minute. Il faudrait onc que le soleil fût encore 30 fois plus, c'est-àire 960 fois plus éloigné, avant qu'il ne nous pait pas plus grand qu'une étoile fixe observée avec secours de la lunette. Or, les étoiles sont 200 ois plus éloignées de nous que la lunette ne nous s représente, et conséquemment le soleil devrait re 200 fois 960, c'est-à-dire 192 000 fois plus éloiné qu'il n'est, avant qu'il ne nous parût plus grand u'une étoile fixe. Par conséquent, si les étoiles fixes aient des corps aussi grands que le soleil, leurs

distances seraient 192 000 fois plus grandes que celle du soleil; si elles étaient encore plus grandes, leurs distances devraient être encore autant de fois plus grandes; et en les supposant même plusieurs fois plus petites, leurs distances devraient toujours être plus de mille fois plus grandes que celle du soleil. Or, la distance du soleil est environ de 15 000 000 de milles d'Allemagne (1).

V. A. ne pourra sans doute concevoir sans le plus grand étonnement cette distance prodigieuse des étoiles fixes, et l'étendue entière du monde. Quelle doit être la puissance de celui qui a créé cette immensité, et qui en est le maître absolu? Adorons-le avec la plus profonde soumission.

LETTRE XCIII.

(20 avril 1762.)

Sur la question : Pourquoi la lune et le soleil nous paraissent plus grands à leur lever et à leur coucher, que lorsqu'ils se trouvent à quelque hauteur? Des difficultés qu'on rencontre en voulant expliquer ce phénomène.

V. A. aura sans doute déjà remarqué que lorsque la lune se lève ou se couche, elle nous paraît beaucoup plus grande que lorsqu'elle se trouve au haut du ciel; et tout le monde convient de ce phénomène. On fait la même observation par rapport au

(1) *Voyez* la note sur la page 3 du tome Ier.

eil. Cette apparence a toujours embarrassé les ilosophes, et, de quelque manière qu'on l'envi;e, on rencontre des difficultés presque insurmon›les.

Il serait sans doute ridicule de vouloir en conıre que le corps de la lune est en effet plus grand 'squ'elle paraît dans l'horizon que lorsqu'elle est ıs élevée : car, outre qu'une telle pensée serait surde en elle-même, il faut considérer que quand lune nous paraît à l'horizon, elle paraît à d'autres bitants de la terre plus élevée, et ainsi plus pe›. Or, il est certainement impossible que le ·me corps soit en même temps plus grand et aussi ıs petit.

Une manière presque aussi ridicule d'expliquer étrange phénomène, serait de supposer que la ıe nous fût alors plus proche lorsqu'elle nous raîtrait dans l'horizon que quand elle serait fort vée, puisqu'il est certain que le même corps us paraît d'autant plus grand qu'il est plus proe de nous, et V. A. sait que plus un même objet éloigné de nous; plus il nous paraît petit. C'est écisément par cette raison que les étoiles nous raissent si extrêmement petites, quoique leur véıble grandeur soit prodigieuse. Mais, toute proble que semble cette idée, elle ne saurait avoir ı. Il est plutôt certain que la lune est même un u plus éloignée de nous lorsqu'elle se lève ou se ıche, que lorsqu'elle est plus élevée; en voici la monstration :

Soit le cercle ABD (*fig.* 114) la terre, et que la

lune se trouve en L. Cela posé, un habitant en A verra la lune dans son zénith, ou au plus haut point du ciel. Or, un autre habitant en D, où la ligne DL frise la surface de la terre, verra la lune en même temps dans son horizon; de sorte qu'en même temps la lune paraîtra au spectateur A dans son zénith, et à l'autre spectateur D dans son horizon. Mais il est clair que la dernière distance DL est plus grande que la première AL; et par conséquent la lune est plus éloignée de ceux qui la voient à l'horizon, que de ceux qui la voient près de leur zénith. De là il s'ensuit ouvertement que la lune étant vue à l'horizon devrait nous paraître plus petite, puisqu'elle est effectivement plus éloignée de nous que lorsqu'elle est fort élevée. Il y a donc à s'étonner d'autant plus que nous observons précisément le contraire, et que la lune nous paraît même beaucoup plus grande quand nous la voyons près de l'horizon qu'au milieu du ciel.

Ainsi, plus on approfondit ce phénomène, plus on le trouve étrange, et plus il mérite notre attention; puisqu'il est certain que la lune à l'horizon devrait nous paraître plus petite, étant en effet plus éloignée, et que cependant tout le monde soutient unanimement que la lune paraît alors considérablement plus grande. Cette contradiction est évidente, et semble même renverser tous les principes établis dans l'optique, qui néanmoins sont aussi bien démontrés que ceux de la géométrie.

Je crois avoir mis dans tout son jour l'embarras où nous nous trouvons à cet égard, pour faire d'au-

tant mieux sentir à V. A. l'importance du véritable dénoûment de cette grande difficulté. D'abord, sans entrer dans l'examen de ce jugement général de tous les hommes sur la prodigieuse grandeur de la lune dans l'horizon, je m'arrêterai à la question principale : S'il est aussi vrai que la lune, étant proche de l'horizon, nous paraît effectivement plus grande?

V. A. sait qu'on a des moyens très-sûrs de mesurer exactement les diamètres des corps célestes, en assignant le nombre des degrés et des minutes qu'ils occupent dans le ciel; ou, ce qui revient au même, en mesurant (*fig.* 115) l'angle EOF que forment les lignes EO et FO tirées des bouts opposés de la lune à l'œil du spectateur O; et cet angle EOF est ce qu'on nomme le diamètre apparent de la lune. On a aussi des instruments très-propres à déterminer exactement cet angle; or, quand on s'en sert pour mesurer le diamètre de la lune, d'abord à son lever et ensuite lorsqu'elle est montée bien haut dans le ciel, on trouve effectivement son diamètre un peu plus petit dans le premier cas que dans l'autre, tout comme l'inégalité des distances l'exige. Sur cet article il n'y a aucun doute à former; mais, par la même raison, notre difficulté, au lieu de diminuer, augmente plutôt; et l'on demandera avec d'autant plus d'empressement pourquoi donc tout le monde juge-t-il la lune à son lever et à son coucher plus grande, nonobstant que son diamètre apparent est alors effectivement plus petit? et quelle est la raison de cet éblouissement général auquel

tous les hommes, sans en excepter aucun, sont assujettis? L'astronome, qui sait parfaitement bien que le diamètre apparent de la lune est alors plus petit, en est la dupe aussi bien que le paysan le plus ignorant.

LETTRE XCIV.

(24 avril 1762.)

Réflexions sur cette question embarrassante, et aplanissement des difficultés qu'on y rencontre. Explications absurdes.

V. A. n'aurait pas cru que la simple apparition de la lune fût assujettie à tant de difficultés; mais j'espère les aplanir toutes par les réflexions suivantes:

I. D'abord, il n'est pas étonnant que notre jugement sur la grandeur des objets ne soit pas d'accord avec l'angle visuel sous lequel nous les voyons: l'expérience journalière nous en fournit assez de preuves. Par exemple, un chat devant moi se présente sous un angle plus grand qu'un bœuf à la distance de cent pas. Cependant je ne m'aviserai pas de juger le chat plus grand que le bœuf, et V. A. se souviendra encore que notre jugement sur la grandeur des choses est toujours très-intimement lié avec celui de la distance; de sorte que, si nous nous trompons dans l'estime de la distance, notre jugement sur la grandeur en devient nécessairement faux.

II. Pour mieux éclaircir ceci, il arrive quelquefois ;'une mouche passant subitement devant nos yeux ıs que nous y pensions, si notre vue est fixée sur s objets éloignés, nous imaginons d'abord que la ɔuche est fort éloignée de nous ; et puisqu'elle ıus paraît sous un angle assez considérable, nous prenons au premier instant pour un aigle ou un tre gros oiseau, qui dans l'éloignement nous paraîııt sous le même angle. Il est donc incontestable-ənt certain que notre jugement sur la grandeur s objets ne se règle point sur l'angle visuel sous ȷuel ils sont vus, et qu'il y a une très-grande dif-'ence entre la grandeur apparente des objets et la andeur jugée ou estimée : la première se règle sur ngle visuel, mais l'autre dépend de la distance à ȷuelle nous jugeons que les objets sont éloignés.

III. Pour profiter de cette remarque, j'observe ıbord que nous ne devrions pas dire que nous ıyons la lune plus grande à l'horizon qu'à quelque ıuteur considérable. Cela est absolument faux, et ıus la voyons même tant soit peu plus petite. Mais ıur parler exactement, il faut dire que nous ju-ons et estimons la lune plus grande lorsqu'elle trouve dans l'horizon ; et cela est vrai au pied de lettre, du consentement unanime de tout le onde. Cette remarque suffit pour dissiper la con-ıdiction rapportée ci-dessus; et rien n'empêche ıe la lune, à son lever ou à son coucher, ne puisse re jugée ou estimée plus grande, quoiqu'elle soit ıe sous un angle plus petit.

IV. Il ne s'agit donc plus d'expliquer pourquoi

nous voyons la lune plus grande à l'horizon; ce qui serait sans doute impossible, attendu qu'elle nous paraît effectivement plus petite, comme on peut le prouver par la mesure de l'angle visuel. Mais toute la difficulté se réduit maintenant à cette question : Pourquoi jugeons-nous ou estimons-nous alors la lune plus grande? ou bien il faut rendre raison de cette estime bizarre. La chose n'est plus surprenante en elle-même, puisque nous connaissons mille cas où nous jugeons des objets fort grands, malgré que nous les voyons sous de très petits angles.

V. Or, il n'est plus difficile de répondre à cette question. Nous n'avons qu'à dire que lorsque la lune se lève ou se couche, nous la jugeons plus éloignée de nous que lorsqu'elle est montée à une certaine hauteur. Dès qu'on convient de cette estime, qu'elle qu'en puisse être la cause, il s'ensuit nécessairement que nous devons aussi juger la lune d'autant plus grande : car toujours plus nous estimons éloigné un objet, plus nous l'estimons grand, et cela précisément dans le même rapport. Dès que je m'imagine, par quelque illusion que ce soit, que la mouche qui passe devant mes yeux se trouve à la distance de 100 pas, je suis obligé, presque malgré moi, de la juger autant de fois plus grande que 100 pas surpassent la véritable distance de la mouche à mes yeux.

VI. Nous voilà donc réduits à une nouvelle question : Pourquoi estimons-nous la lune plus éloignée de nous lorsqu'elle se trouve dans l'horizon? et pourquoi cette illusion est-elle si générale, que personne

n'en est exempt? car c'est une illusion bien étrange de s'imaginer que la lune soit alors beaucoup plus éloignée de nous. Il est bien vrai qu'alors la lune est en effet un peu plus éloignée, comme je l'ai fait voir dans ma lettre précédente ; mais la différence est si petite qu'elle ne saurait être sensible. Outre cela, le soleil, quoiqu'il soit 100 fois plus éloigné que la lune, ne nous paraît pas plus éloigné, et notre vue rapporte même les étoiles fixes presque à la même distance.

VII. Ainsi, quoique la lune étant à l'horizon soit effectivement un peu plus éloignée, cette circonstance n'entre pour rien dans la question présente ; et cette estime universelle par laquelle tout le monde juge alors la lune plus éloignée qu'elle ne l'est réellement doit être fondée sur des raisons tout à fait différentes, capables d'éblouir tout le monde. Car, puisque cette estime est indubitablement fausse, il faut que les raisons qui nous y déterminent soient bien frappantes.

VIII. Pour expliquer ce phénomène, pourquoi nous estimons la lune plus éloignée en la voyant dans l'horizon, plusieurs philosophes ont soutenu que la raison en était, parce que nous découvrons alors beaucoup d'objets entre nous et la lune, comme des villes, des villages, des forêts et des montagnes, ce qui est cause, selon eux, que la lune nous paraît alors beaucoup plus éloignée ; au lieu que lorsqu'elle est fort élevée, nous n'observons aucun corps entre nous et elle, et ainsi, disent-ils, elle doit nous paraître plus proche. Mais cette explication, quelque

ingénieuse qu'elle semble au premier coup d'œil, ne saurait être admise. On n'a qu'à regarder la lune dans l'horizon par quelque trou qui nous cache les objets intermédiaires, elle ne laisse pas de nous paraître plus grande. Outre cela, il n'est pas vrai non plus que nous estimions toujours plus éloignés les objets entre lesquels nous découvrons plusieurs autres corps. Une grande salle, par exemple, tout à fait vide, nous paraît ordinairement plus étendue que si elle est remplie de monde, malgré la quantité d'objets que nous voyons alors entre nous et les murailles.

LETTRE XCV.

(27 avril 1762.)

Acheminement à la vraie explication de ce phénomène. La lune paraît être plus éloignée de nous lorsqu'elle est à l'horizon, que lorsqu'elle se trouve au haut du ciel.

Nous voilà donc encore fort éloignés de l'explication de cette illusion universelle par laquelle tous les hommes, sans en excepter aucun, jugent la lune beaucoup plus grande lorsqu'elle paraît dans l'horizon, que lorsqu'elle est fort élevée. J'ai déjà remarqué que ce phénomène est d'autant plus bizarre, que le diamètre apparent de la lune est alors même tant soit peu plus petit : de sorte qu'on devrait dire que nous ne voyons pas alors la lune plus grande, mais que nous la jugeons plus grande.

Aussi ai-je observé que très-souvent notre jugenent diffère beaucoup de la vision même. Nous ne aissons pas, par exemple, de juger un cheval éloiné de 100 pas plus grand qu'un chien à la distance l'un pas, quoique la grandeur apparente du chien oit sans contredit plus grande; ou bien, ce qui evient au même, quoiqu'au fond de l'œil l'image lu chien qui y est dépeinte soit plus grande que elle du cheval. Dans ces cas notre jugement a égard la distance; et comme nous jugeons le cheval eaucoup plus éloigné que le chien, c'est la vériable raison pour laquelle nous le jugeons aussi lus grand.

Il est donc très-vraisemblable qu'une pareille cironstance a lieu dans la vision de la lune, et que ous jugeons la lune dans l'horizon plus éloignée ue lorsqu'elle est fort élevée. Dans l'exemple du heval, ce jugement de la distance était fondé sur la érité; mais ici, comme il est absolument faux, 'est une illusion fort étrange qui doit pourtant voir un certain fondement, puisque tout le monde n convient, et qu'on ne saurait l'attribuer à un ur caprice. Quel sera ce fondement? C'est de quoi vais entretenir V. A.

I. D'abord tout le monde se représente le bleu u ciel comme une voûte aplatie dont le sommet ous est beaucoup plus proche que le bas, où elle confond avec l'horizon. Ainsi un homme placé ir une plaine AB (*fig.* 116), qui s'étend aussi loin ue sa vue, aperçoit la voûte du ciel, qu'on nomme ommunément firmament, sous la figure AEFB, où

les distances CA et CB sont beaucoup plus grandes que celle du zénith à C.

II. Cette idée est aussi, sans contredit, une illusion fort grossière, puisqu'il n'y a rien au-dessus de nous qui soit borné ou fermé par une telle voûte. Tout y est plutôt vide; et l'étendue de ce vide est immense, puisqu'il va jusqu'aux étoiles fixes les plus éloignées, dont la distance surpasse toute la force de notre imagination. Que V. A. me pardonne ce mot *vide*, dont je me sers pour l'opposer aux corps grossiers terrestres. Car, en effet, près de la terre, c'est notre atmosphère qui occupe l'espace, et plus loin c'est cette matière beaucoup plus subtile qu'on nomme l'éther.

III. Cependant, quelque imaginaire que soit en elle-même cette voûte, elle est très-réelle dans notre imagination, et tous les hommes, les savants aussi bien que les idiots, sont également dupes sur cet article-là. C'est presque à la surface de cette voûte que nous nous représentons le soleil et la lune avec toutes les étoiles, comme si c'étaient des clous brillants qui y fussent attachés; et, malgré la connaissance que nous avons du contraire, nous ne saurions nous empêcher de nous livrer à cette fausse illusion.

IV. Cela posé, lorsque la lune se trouve à l'horizon, nous la rapportons dans notre imagination au point A ou B de ladite voûte imaginaire; et c'est par là que nous estimons alors sa distance d'autant plus grande, que nous jugeons être la ligne CA ou CB plus grande que CZ. Mais quand la lune en montant

s'approche du zénith, nous l'estimons s'approcher de nous; et si elle atteignait le zénith, nous jugerions alors sa distance la plus petite.

V. Cette illusion sur la distance entraîne nécessairement l'autre sur la grandeur. Puisque la lune, étant rapportée en A, nous paraît beaucoup plus éloignée de C que si elle était dans le zénith, nous sommes en quelque manière forcés d'en conclure que la lune même est d'autant plus grande, et cela dans la même raison que la distance CA nous paraît surpasser la distance CZ. Peut-être que tous les hommes ne seront pas trop d'accord sur cette proportion : l'un dira que la lune à l'horizon lui paraît deux fois plus grande, un autre trois fois, et la plupart se déclareront pour quelque milieu entre deux et trois; mais pour la chose même, tous se réuniront.

VI. A cette occasion, il sera à propos de remettre sous les yeux de V. A. la démonstration de cette conséquence : Comment le jugement de la grandeur est une suite nécessaire de l'estime de la distance?

Quand la lune est près de l'horizon, nous la voyons sous un certain angle, lequel soit MCA (*fig.* 117), le spectateur étant en C; et quand elle est fort élevée, soit NCD l'angle sous lequel nous la voyons. Or, il est très-certain que ces deux angles MCA et NCD sont bien à peu près égaux entre eux, la différence étant insensible.

VII. Mais, dans le premier cas, puisque nous estimons la lune beaucoup plus éloignée, en la rappor-

tant à la voûte imaginaire décrite ci-dessus, soit la ligne CA cette distance imaginaire de la lune, de là il s'ensuit que nous estimons le diamètre de la lune égal à la ligne MA. Mais, dans l'autre cas, la distance de la lune CD nous paraît beaucoup plus petite; et par conséquent, puisque l'angle NCD est égal à MCA, la grandeur estimée DN sera aussi beaucoup plus petite que AM.

VIII. Pour ne laisser sur ceci aucun doute, on n'a qu'à couper les lignes *Cd*, *Cn*, égales aux lignes CD et CN; et puisque, dans les deux triangles *Cdn* et CDN, les angles en C sont égaux, les triangles mêmes le sont aussi, et par conséquent la ligne DN sera égale à *dn*; or *dn* est visiblement plus petite que AM, et cela autant de fois que la distance *cd* ou CD est plus petite que CA. V. A. comprend donc clairement la raison qui nous fait estimer la lune à l'horizon plus grande que près du zénith.

LETTRE XCVI.

(1er mai 1762.)

Les espaces du ciel nous paraissent sous la forme d'une voûte aplatie vers le zénith.

V. A. me reprochera sans doute que je viens d'expliquer une illusion par une autre qui n'est pas moins bizarre; elle m'objectera que la voûte imaginaire du ciel est aussi inconcevable que l'agrandis-

ment apparent de la lune et des autres astres près
e l'horizon. Cette objection n'est que trop bien
ndée, et il est de mon devoir d'expliquer à V. A.
. véritable raison de ce que le ciel nous paraît
ous la forme d'une voûte aplatie par le haut. Je
iis tâcher de m'en acquitter par les réflexions
iivantes :

I. Pour rendre raison de cette voûte imaginaire,
n est obligé de dire que cela vient de ce que les
bjets célestes que nous voyons près de l'horizon
ous paraissent plus éloignés que ceux que nous
oyons près du zénith ; et c'est sans doute une péti-
on de principe très-formelle, que les logiciens ont
roit de rejeter comme un vice insupportable dans
os raisonnements. En effet, après avoir dit plus
aut que la voûte imaginaire du ciel est la cause qui
ous fait paraître la lune à l'horizon plus éloignée
ie près du zénith, il serait à présent ridicule de
ire que ce qui nous fait imaginer cette voûte est
ie les objets horizontaux nous paraissent plus éloi-
iés que les verticaux.

II. Il n'était cependant pas inutile de parler de
itte voûte imaginaire, quoique nous n'en soyons
is plus avancés pour cela ; et quand j'aurai expli-
ué pourquoi les objets célestes nous paraissent plus
oignés lorsque nous les voyons près de l'horizon,
. A. comprendra en même temps la raison de cette
ouble illusion universelle, dont l'une est l'agran-
issement apparent des astres dans l'horizon, et
iutre la voûte aplatie du ciel.

III. Tout revient donc à expliquer pourquoi les

objets célestes vus à l'horizon nous paraissent plus éloignés que lorsqu'ils se trouvent à quelque hauteur considérable : je dis maintenant que la raison en est, parce que ces objets nous paraissent moins brillants; ce qui m'impose une double tâche, qui est de montrer pourquoi ces objets brillent avec moins d'éclat vers l'horizon, et ensuite d'expliquer comme cette circonstance entraîne nécessairement le jugement d'une plus grande distance. J'espère remplir l'une et l'autre à la satisfaction de V. A.

IV. D'abord le phénomène lui-même ne saurait être révoqué en doute. Quelque grand que soit l'éclat du soleil vers midi, de sorte que personne ne saurait y diriger ses yeux, V. A. sait que le matin et le soir, lorsque le soleil se lève ou se couche, on peut le regarder sans risque d'en avoir la vue incommodée; et la même chose arrive par rapport à la lune et à toutes les étoiles, dont l'éclat est extrêmement affaibli dans le voisinage de l'horizon. Aussi ne voit-on pas même les plus petites étoiles quand elles ne sont qu'un peu élevées au-dessus de l'horizon, pendant qu'on les voit assez distinctement lorsqu'elles sont parvenues à quelque hauteur considérable.

V. Ce fait étant suffisamment constaté, il s'agit de découvrir la cause de cet affaiblissement de lumière. Il est assez clair que nous ne saurions la chercher que dans la nature de notre atmosphère, ou de l'air qui environne la terre, en tant qu'il n'est pas parfaitement transparent. Car si l'air était parfaitement transparent, de sorte que tous les rayons y

fussent transmis sans souffrir aucune diminution, il n'y a aucun doute que les étoiles devraient toujours briller avec le même éclat, en quelque lieu du ciel qu'elles se trouvassent.

VI. Or l'air, outre qu'il est une matière beaucoup moins déliée et moins subtile que l'éther, dont la transparence est parfaite, est aussi toujours chargé de particules hétérogènes qui s'y élèvent de la terre comme les exhalaisons et les vapeurs, et qui sont nuisibles à sa transparence ; en sorte que si quelque rayon rencontre une telle particule, il en est intercepté et presque éteint. Aussi, il est évident que plus l'air est chargé de ces particules qui sont des obstacles à la transmission de la lumière, plus les rayons doivent s'y perdre; et V. A. sait qu'un brouillard fort épais dépouille l'air presque de toute sa transparence, de sorte que souvent on ne saurait plus distinguer les objets à la distance de trois pas.

VII. Que les points marqués dans la *fig.* 118 représentent de telles parcelles parsemées dans l'air, dont le nombre est tantôt plus, tant moins grand, selon que l'air est plus ou moins serein. Il est donc évident que plusieurs rayons qui traversent cet espace doivent se perdre, et que la perte sera d'autant plus grande que le trajet qu'ils ont à parcourir par cet air sera grand. Ainsi, nous voyons que, dans un brouillard, les objets éloignés deviennent invisibles, pendant que ceux qui sont fort près de l'œil sont encore aperçus : la raison en est parce que les rayons des premiers rencontrent dans leur chemin un plus grand nombre de parcelles qui les arrêtent.

VIII. De là il faut conclure que plus le trajet que les rayons des astres ont à faire dans l'atmosphère pour parvenir à nos yeux est long, plus leur perte ou affaiblissement doit en devenir considérable. V. A. n'aura plus là-dessus le moindre doute. Il reste donc simplement à prouver que les rayons des étoiles que nous voyons près de notre horizon ont un chemin beaucoup plus long à parcourir dans notre atmosphère, que lorsqu'elles se trouvent plus près de notre zénith. Par là V. A. comprendra la véritable raison pourquoi les astres près de l'horizon, à leur lever et à leur coucher, paraissent beaucoup moins brillants. Ce sera le sujet de ma lettre prochaine.

LETTRE XCVII.

(4 mai 1762.)

La lumière des astres qui se trouvent à l'horizon est beaucoup affaiblie, parce que leurs rayons ont un beaucoup plus grand chemin à parcourir dans notre basse atmosphère que lorsque les astres se trouvent à une hauteur; et c'est par cette raison que nous les jugeons, à l'horizon, être plus éloignés de nous et plus grands que s'ils sont à une hauteur.

Peut-être ce que je viens d'avancer, que les rayons des astres qui se trouvent à l'horizon ont un chemin plus long à parcourir dans notre atmosphère, paraîtra bien paradoxe à V. A., attendu que l'atmosphère s'étend partout à la même hauteur; de sorte qu'en quelque lieu que se trouve une étoile,

ses rayons doivent toujours pénétrer par toute sa hauteur avant que de parvenir à nos yeux. Mais j'espère que les réflexions suivantes dissiperont tous les doutes.

I. D'abord il faut se former une juste idée de l'atmosphère qui environne la terre. Pour cet effet, le cercle intérieur ABCD (*fig.* 119) représente la terre même, et l'extérieur ponctué *abcd* termine l'atmosphère. Il faut remarquer que partout, à mesure que l'air s'élève au-dessus de la surface de la terre, il devient de plus en plus subtil et rare; de sorte qu'il se perd enfin insensiblement avec l'éther qui remplit tous les espaces célestes.

II. L'air le plus grossier, celui qui est le plus chargé des parcelles qui éteignent les rayons de lumière, se trouve partout en bas près de la surface de la terre. De là, en montant, il devient de plus en plus rare, et ainsi moins nuisible à la lumière; et à la hauteur d'un mille d'Allemagne il est déjà si subtil, qu'il n'y saurait plus causer de perte sensible à la lumière. On peut donc fixer la distance entre le cercle intérieur et l'extérieur, environ d'un mille d'Allemagne, tandis que le demi-diamètre de la terre même en contient environ 860; de sorte que la hauteur de l'atmosphère est fort peu de chose par rapport à la grandeur du globe de la terre.

III. Considérons maintenant un spectateur en A (*fig.* 120), sur la surface de la terre; et, tirant du centre de la terre G par A la ligne GZ, elle sera dirigée vers le zénith de notre spectateur. La ligne

AS, qui y est perpendiculaire et qui touche la terre, sera pour le spectateur horizontale. Conséquemment, une étoile en Z sera vue dans le zénith ou au sommet du ciel; or, une étoile en S paraîtra dans l'horizon à son lever ou à son coucher. Rien n'empêche que nous ne regardions l'une et l'autre étoile comme infiniment éloignée de la terre, quoique je n'aie pu l'exprimer dans la figure.

IV. A présent V. A. n'a qu'à jeter les yeux sur la figure, pour voir que les rayons partant de S ont un trajet beaucoup plus long à faire dans l'atmosphère que ceux de l'étoile Z, avant d'atteindre le spectateur en A. Les rayons de l'étoile Z ont seulement à traverser la hauteur de l'atmosphère *a*A qui est environ d'un mille, au lieu que les rayons de l'étoile S doivent parcourir tout le chemin *h*A, qui est visiblement beaucoup plus long; et si la figure pouvait mieux répondre à la vérité, de sorte que le rayon GA fût 860 fois plus long que la hauteur A*a*, on verrait que la distance A*h* surpasserait 40 milles.

V. Aussi est-il bon de remarquer que les rayons de l'étoile Z n'ont qu'un très-petit espace à parcourir par la basse atmosphère, qui est la plus chargée de vapeurs, au lieu que les rayons de l'étoile S ont un trajet très-considérable à faire par cette partie basse de l'atmosphère, et sont obligés presque de ramper, pour ainsi dire, sur la surface de la terre : d'où il est très-naturel de conclure que les rayons de l'étoile en Z ne souffrent presque aucun affaiblissement, tandis que ceux de l'étoile S doivent être

presque éteints, à cause du grand trajet qu'ils ont à parcourir dans l'air grossier.

VI. Il est donc incontestablement prouvé que les astres que nous voyons à l'horizon doivent paraître avec un éclat extrêmement affaibli. Maintenant V. A. comprendra fort aisément pourquoi nous pouvons fixer les yeux sur le soleil levant ou couchant, sans qu'ils en soient incommodés, au lieu qu'à midi, lorsque le soleil est haut, son éclat nous est insupportable. Or, c'est le premier article que je m'étais proposé de démontrer; il ne me reste actuellement qu'à prouver l'autre: savoir, que le même affaiblissement de lumière nous force presque à nous imaginer comme si les corps célestes étaient alors beaucoup plus éloignés de nous que si nous les voyions dans leur plein éclat.

VII. Or, il en faut chercher la raison dans les objets terrestres que nous voyons tous les jours, et sur la distance desquels nous formons un jugement. Mais, par la même raison que les rayons, en passant par l'air, souffrent quelque affaiblissement, il est clair que plus un objet est éloigné de nous, plus il perd de sa clarté, ou plus il nous paraît obscur. Ainsi une montagne fort éloignée nous paraît très-sombre; mais si, au contraire, nous nous en approchons assez, nous y distinguons facilement les arbres, ce qui n'est pas possible dans un grand éloignement.

VIII. Cette observation si générale, qui ne nous trompe jamais dans les objets terrestres, a produit en nous, depuis notre première jeunesse, ce prin-

cipe fondamental par lequel nous jugeons tous les objets d'autant plus éloignés, que les rayons qui nous en viennent ont été affaiblis. C'est donc en vertu de ce principe que nous estimons la lune, à son lever ou à son coucher, beaucoup plus éloignée de nous que quand elle a déjà atteint une hauteur considérable; et par cette même raison nous la jugeons aussi d'autant plus grande. Je me flatte que V. A. trouvera ces raisons parfaitement bien fondées, et ce phénomène bizarre aussi bien éclairci qu'il est possible.

LETTRE XCVIII.

(8 mai 1762.)

Sur quelques autres illusions qui viennent de ce que nous jugeons un objet d'autant plus éloigné de nous, que sa lumière ou son éclat nous paraît faible. De quelle manière les peintres en profitent.

Le principe de notre imagination par lequel je viens d'expliquer ce phénomène tout à fait bizarre, qui nous fait estimer la lune beaucoup plus grande près de l'horizon qu'au milieu du ciel; ce principe, dis-je, est tellement enraciné dans notre esprit, qu'il est la source de mille autres illusions, dont je me contenterai de mettre quelques-unes sous les yeux de V. A.

Depuis notre jeunesse, nous nous sentons entraînés, comme malgré nous, à juger les objets d'au-

tant plus éloignés, que leur éclat est affaibli; et d'un autre côté, les objets fort brillants nous paraissent plus proches qu'ils ne le sont. Cette illusion ne vient sans doute que d'une imagination peu réglée, qui nous mène très-souvent à faux. Néanmoins elle nous est si naturelle, et en même temps elle est si universelle, qu'il n'y a personne qui soit le maître de s'en garantir, quoique l'erreur où elle nous précipite soit souvent très-manifeste, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A. par rapport à la lune; mais nous sommes également trompés en quantité d'autres occasions, dont je vais développer quelques-unes.

I. C'est une illusion fort connue, que de nuit le feu d'un incendie nous paraît beaucoup plus proche qu'il n'est effectivement. La raison en est bien claire: c'est que le feu brille avec un très-grand éclat, et, selon le principe établi de notre imagination, nous l'estimons toujours plus près qu'il n'est.

II. De la même manière, une grande salle dont les parois sont bien blanchies nous paraît toujours moins grande. V. A. sait que la couleur blanche est la plus brillante; donc, nous estimons les murailles de cette salle trop proches de nous, et par conséquent l'étendue apparente de la salle en est diminuée.

III. Or, dans une salle dont les murailles sont couvertes de drap noir, comme c'est l'usage dans les grands deuils, nous éprouvons un effet entièrement contraire. Alors une telle chambre nous paraît beaucoup plus spacieuse qu'elle n'est effectivement; le

noir est sans doute la couleur la plus sombre, attendu qu'elle ne renvoie presque aucune lumière dans nos yeux; et, par cette raison, il nous semble que les parois noires sont beaucoup plus éloignées de nous qu'elles ne le sont en effet. Ainsi, qu'on couvre de toile noire les murailles d'une chambre, elle paraîtra plus grande; et au contraire, qu'on les fasse bien blanchir, la chambre paraîtra plus petite.

IV. Mais ce sont les peintres qui savent le mieux profiter de cette illusion si naturelle, et si commune à tous les hommes. V. A. sait que le même tableau nous représente des objets dont quelques-uns nous paraissent extrêmement éloignés, pendant que d'autres nous semblent fort proches; et c'est en quoi consiste la glus grande ressource d'un habile peintre. Il est sans doute bien surprenant que, malgré que nous sachions très-certainement que toutes les représentations d'un tableau sont exprimées sur la même surface, et ainsi à peu près à une égale distance de nos yeux, nous n'en soyons pas moins trompés, et que nous jugions les unes fort loin, les autres fort près. On attribue communément cette illusion à un adroit mélange de lumière et d'ombre, lequel fournit sans doute aux peintres les plus grands secours. Mais V. A. n'a qu'à considérer un tel tableau, pour s'apercevoir que les objets qui doivent nous paraître fort éloignés sont exprimés très-faiblement et assez indistinctement. Ainsi, quand nous portons notre vue sur des objets fort éloignés, nous apercevons bien, par exemple, des personnes en gros, mais sans que nous puissions en distinguer

les yeux, ni le nez, ni la bouche; et c'est conformément à cette apparence que le peintre représente ces objets. Quant à ceux que nous devons estimer fort près de nous, le peintre leur donne les plus vives couleurs, et prend la peine d'y exprimer soigneusement toutes les minuties. Si ce sont des personnes, nous y distinguons les moindres linéaments du visage, les plis de l'habit, etc.; alors une telle représentation semble, pour ainsi dire, sortir hors du tableau, tandis que d'autres y paraissent enfoncées et reculées fort loin.

V. C'est donc uniquement sur cette illusion que tout l'art de la peinture est fondé. Si nous étions accoutumés à juger selon la vérité, cet art tout entier ne saurait plus avoir lieu, non plus que si nous étions aveugles. Le peintre aurait beau faire valoir toute son adresse dans le mélange des couleurs, nous dirions : Voilà sur cette table, ici une tache rouge, là une bleue, ici un trait noir, là quelques lignes blanchâtres; tout se trouve sur la même surface, il n'y a nulle part ni enfoncement, ni élévation, et ainsi aucun objet réel ne saurait être représenté de cette manière; on ne saurait alors le regarder autrement que comme on regarde une écriture sur le papier, et l'on se fatiguerait peut-être inutilement à vouloir deviner la signification de toutes les taches diversement colorées. Dans un tel état de perfection, ne serions-nous pas aussi fort à plaindre d'être privés des plaisirs que nous procure tous les jours un art à la fois si amusant et si instructif?

LETTRE XCIX.

(11 mai 1762.)

Sur le bleu du ciel (1).

V. A. vient de comprendre la cause de cette illusion par laquelle la lune, aussi bien que le soleil, nous paraît beaucoup plus grande dans l'horizon qu'à une hauteur considérable: c'est parce que nous estimons alors ces corps plus éloignés de nous; et la raison de cette estime est fondée sur ce que leur lumière souffre alors un affaiblissement considérable, par le long trajet qu'elle doit faire, à travers l'atmosphère, dans la basse région qui est la plus chargée de vapeurs et d'autres exhalaisons qui diminuent la transparence. C'est à quoi se réduisent toutes les réflexions que j'ai eu l'honneur de proposer à V. A. sur ce sujet.

Cette qualité de l'air, qui en diminue la transparence, pourrait être regardée comme un défaut au premier coup d'œil; mais si nous en considérons les suites, nous trouvons que, bien loin que ce soit un défaut, nous devons plutôt y reconnaître la sagesse et la bonté infinie du Créateur. C'est d'abord à cette impureté de l'air que nous sommes redevables de ce spectacle merveilleux et ravissant que nous offre le bleu du ciel: car les particules opaques

(1) *Voyez* la lettre XXXII de la Ire partie, tome I.

les yeux, ni le nez, ni la bouche; et c'est conformément à cette apparence que le peintre représente ces objets. Quant à ceux que nous devons estimer fort près de nous, le peintre leur donne les plus vives couleurs, et prend la peine d'y exprimer soigneusement toutes les minuties. Si ce sont des personnes, nous y distinguons les moindres linéaments du visage, les plis de l'habit, etc.; alors une telle représentation semble, pour ainsi dire, sortir hors du tableau, tandis que d'autres y paraissent enfoncées et reculées fort loin.

V. C'est donc uniquement sur cette illusion que tout l'art de la peinture est fondé. Si nous étions accoutumés à juger selon la vérité, cet art tout entier ne saurait plus avoir lieu, non plus que si nous étions aveugles. Le peintre aurait beau faire valoir toute son adresse dans le mélange des couleurs, nous dirions : Voilà sur cette table, ici une tache rouge, là une bleue, ici un trait noir, là quelques lignes blanchâtres; tout se trouve sur la même surface, il n'y a nulle part ni enfoncement, ni élévation, et ainsi aucun objet réel ne saurait être représenté de cette manière; on ne saurait alors le regarder autrement que comme on regarde une écriture sur le papier, et l'on se fatiguerait peut-être inutilement à vouloir deviner la signification de toutes les taches diversement colorées. Dans un tel état de perfection, ne serions-nous pas aussi fort à plaindre d'être privés des plaisirs que nous procure tous les jours un art à la fois si amusant et si instructif?

---

ciel, lorsqu'il est serein, n'est donc autre chose que le résultat de toutes ces particules dispersées dans l'atmosphère, et principalement de celles qui sont fort éloignées de nous; et ainsi on peut bien dire que toutes ces particules sont bleues de leur nature, mais d'un bleu extrêmement clair, qui ne devient assez foncé et sensible que lorsqu'elles sont en très-grand nombre, et qu'elles joignent ensemble leurs rayons selon la même direction.

IV. L'art peut produire un effet semblable. On n'a qu'à dissoudre une petite quantité d'indigo dans une grande quantité d'eau; alors, en laissant tomber cette eau par gouttes, on n'y remarque pas la moindre teinture, et si l'on en verse dans un petit gobelet, on n'y verra qu'une couleur bleuâtre très-faible. Mais si l'on en remplit un grand vaisseau, et qu'on le regarde de loin, on y observe un bleu très-foncé. La même expérience peut se faire aussi avec d'autres couleurs. C'est ainsi que le vin de Bourgogne en très-petite quantité paraît à peine un peu rougeâtre, et que si l'on regarde une grande fiole qui en soit remplie, la couleur rouge paraîtra bien foncée.

V. Toute eau, lorsqu'un grand et profond bassin en est rempli, paraît toujours avoir une certaine couleur, quoiqu'une petite quantité soit tout à fait claire et limpide. Ordinairement cette couleur est verdâtre plus ou moins, ce qui fait dire que les dernières particules de l'eau sont verdâtres, mais d'une couleur extrêmement déliée; de sorte qu'il en faut regarder un gros volume avant de s'en aper-

qui arrêtent les rayons de lumière en sont éclairées, et nous renvoient ensuite leurs propres rayons produits dans leur surface par un trémoussement violent, tout comme il arrive dans tous les corps opaques. Or, le nombre de vibrations qu'elles reçoivent est tel, qu'il nous représente le plus beau bleu. Cette circonstance mérite bien que je la développe clairement.

I. D'abord j'observe que ces particules sont extrêmement petites et fort éloignées entre elles, outre qu'elles sont très-déliées et presque tout à fait transparentes. De là vient que chacune séparément n'est pas absolument perceptible; et à moins qu'un très-grand nombre de ces particules n'envoie ses rayons à la fois et presque selon la même direction dans nos yeux, nous ne saurions en être affectés. Il faut donc que les rayons de plusieurs se réunissent, pour qu'ils excitent une sensation.

II. De là il suit clairement que celles de ces particules qui nous sont proches échappent à nos sens, puisqu'il faut les considérer comme des points rarement dispersés par la masse de l'air.

Mais celles qui sont fort éloignées de l'œil, comme (*fig.* 121) les points *a*, *b*, *c*, réunissent dans l'œil, presque selon la même direction, leurs rayons, qui, par là, deviennent assez forts pour frapper notre vue, surtout quand on considère que de semblables particules plus éloignées *e*, *f*, *g*, *h*, ainsi que d'autres plus voisines, concourent à produire cet effet.

III. La couleur bleue que nous voyons dans le

de la fluidité et de l'élasticité, que j'ai eu déjà l'honneur de proposer à V. A., c'est-à-dire que les dernières particules qui constituent l'air sont bleuâtres de leur nature.

LETTRE C.

(15 mai 1762.)

Sur ce que nous observerions si l'air était parfaitement transparent, et de la situation déplorable dans laquelle une telle parfaite transparence de l'air nous jetterait.

Sur cette teinture de l'air qui nous environne, sans laquelle nous ne jouirions pas de ce beau spectacle du bleu du ciel, je remarque de plus que nous serions bien malheureux si l'air était parfaitement transparent et dépouillé de ces particules bleuâtres; de sorte que nous devons plutôt y reconnaître et admirer la bonté infinie et la sagesse du Créateur.

Pour en convaincre parfaitement V. A., supposons que l'air soit tout à fait transparent et semblable à l'éther, lequel, comme nous le savons, transmet tous les rayons des étoiles sans en arrêter aucun, et ne contient point de telles particules qui soient elles-mêmes éclairées par les rayons, attendu qu'une telle particule ne saurait être éclairée sans intercepter quelques rayons qui y tombent. Si l'air se trouvait dans un pareil état, tous les rayons du soleil le traverseraient librement, et aucune lumière n'en serait renvoyée dans nos yeux; nous ne rece-

cevoir, puisqu'alors les rayons de plusieurs particules se joignent ensemble pour produire le même effet.

VI. Comme il paraît probable, par cette observation, que les dernières particules de l'eau sont verdâtres, on pourrait soutenir que la même raison par laquelle la mer, ou l'eau d'un lac et d'un étang nous paraissent vertes, est celle par laquelle le ciel nous paraît bleu. Car il est plus vraisemblable que toutes les particules de l'air aient une légère teinture de bleu, mais qui soit si faible, qu'elle ne devienne visible que quand on regarde une masse immense, comme toute l'étendue de l'atmosphère, qu'il ne l'est d'attribuer cette couleur aux vapeurs qui voltigent dans l'air, et qui n'y appartiennent pas.

VII. En effet, plus l'air est pur et dégagé d'exhalaisons, plus le bleu du ciel a de l'éclat; ce qui prouve suffisamment qu'il faut en chercher la raison dans les particules propres de l'air. D'autres matières étrangères qui se mêlent avec l'air, comme les exhalaisons, deviennent au contraire nuisibles à ce beau bleu, et ne font qu'en altérer extrêmement l'éclat. Lorsque de telles vapeurs chargent trop l'air, elles causent ici-bas des brouillards, et nous dérobent entièrement le spectacle de la couleur bleue : si elles sont plus élevées, comme cela arrive ordinairement, il s'en forme des nuages qui couvrent souvent le ciel tout entier, et nous offrent une tout autre couleur que ce bleu de l'air pur; c'est donc une nouvelle qualité de l'air, outre celle de la subtilité,

lumière de l'étoile n'y saurait exciter de sensations. Je ne parle pas de l'impossibilité qu'il y aurait à tenir l'œil ouvert, en voulant regarder vers N; cela est trop sensible pour ne pas être entendu.

Mais en opposant au soleil un corps opaque qui en interceptât les rayons, on ne manquerait pas de voir l'étoile N, quelque proche qu'elle fût du soleil; V. A. comprendra aisément dans quel triste état nous nous trouverions alors. Ce voisinage du plus grand éclat et des ténèbres les plus sombres blesserait notre vue, au point que nous en deviendrions d'abord aveugles. On peut en juger par l'incommodité que nous ressentons en passant subitement d'un lieu obscur dans un autre fort éclairé.

C'est donc à ce grand inconvénient que remédie la nature de l'air, en tant qu'il contient des particules tant soit peu opaques, et susceptibles d'illumination. Alors, dès que le soleil se lève au-dessus de l'horizon, et même déjà un peu auparavant, toute l'atmosphère en devient éclairée, et nous présente ce beau bleu dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A.; de sorte que nos yeux, quelque part que nous les dirigions, en reçoivent quantité de rayons engendrés dans les mêmes particules. Ainsi, en regardant vers M, nous y apercevons une très-grande clarté, ou bien ce brillant bleu du ciel.

C'est cette même clarté qui nous empêche de voir les étoiles pendant le jour; et la raison en est évidente. Cette clarté surpasse de beaucoup de fois celle des étoiles, et une moindre s'évanouit auprès d'une autre beaucoup plus grande; car les nerfs de

vrions d'autres rayons que ceux qui viennent immédiatement du soleil. Par conséquent tout le ciel, excepté le lieu où est le soleil, nous paraîtrait tout à fait obscur; et au lieu de ce beau bleu brillant, si nous regardions en haut, nous n'y découvririons qu'un noir très-foncé et une nuit la plus obscure.

La *fig.* 122 représente le soleil, et le point O est un spectateur dont l'œil ne recevrait d'autres rayons d'en haut que du soleil, de sorte que toute la clarté serait renfermée dans le petit angle EOF. En portant sa vue vers une autre région du ciel, comme vers M, on n'en recevrait aucun rayon, et il en serait de même que si l'on regardait dans un lieu entièrement obscur; or, tout endroit qui n'envoie point des rayons de lumière est noir. Je fais ici abstraction des étoiles dont le ciel est rempli; car, en dirigeant l'œil vers M, rien n'empêche que les rayons des étoiles qui se trouvent dans cette région n'entrent dans l'œil; et même ces rayons auraient d'autant plus de force, qu'ils ne souffriraient aucun affaiblissement par l'atmosphère, telle que je viens de la supposer. On verrait donc toutes les étoiles en plein jour aussi bien que dans la nuit la plus obscure; mais il faut considérer que tout ce plein jour se réduirait au seul petit angle EOF, tout le reste du ciel étant aussi obscur que la nuit.

Cependant, tout près du soleil, les étoiles nous seraient invisibles, et nous ne verrions point, par exemple, l'étoile N; puisqu'en la regardant notre œil recevrait en même temps les rayons du soleil, desquels il serait si vivement frappé, que la faible

LETTRE CI.

(18 mai 1762.)

Sur la réfraction des rayons de lumière à leur entrée dans l'atmosphère, sur les effets de cette réfraction. Des crépuscules, et du lever et coucher apparents des astres.

Pour expliquer la cause des crépuscules, ou de cette clarté du ciel, tant avant le lever qu'après le coucher du soleil, V. A. n'a qu'à se rappeler ce que j'ai déjà eu l'honneur de lui dire touchant l'horizon et l'atmosphère.

Que le cercle AOBD (*fig.* 123) représente la terre, et le cercle ponctué *aobd* l'atmosphère ; considérons un lieu sur la terre O par laquelle on tire une ligne droite HORI qui touche la terre en O, et cette ligne HI représentera l'horizon qui sépare la partie du ciel qui nous est visible, de celle qui nous est invisible. Donc, dès que le soleil atteint cette ligne, il paraît dans l'horizon, ou en se levant, ou en se couchant, et alors aussi toute l'atmosphère en est éclairée. Mais supposons que le soleil, avant que de se lever, se trouve encore au-dessous de la terre en S, d'où le rayon STR, frisant la terre en T, puisse atteindre le point de l'atmosphère situé dans notre horizon, et les particules opaques qui s'y trouvent en seront déjà éclairées, et par conséquent nous deviendront visibles. Ainsi, quelque temps déjà avant le lever du soleil, l'atmosphère *ho*R sur notre ho-

ine au fond de l'œil, étant déjà frappés par une re très-forte, ne sauraient plus être sensibles à ›le impression des étoiles.

A. n'a qu'à se rappeler que le clair de la pleine est déjà plus de 300 000 fois moindre que celui leil, pour se convaincre que la clarté qui nous des seules étoiles n'est rien en comparaison de du soleil. Or, la seule clarté du ciel pendant r est déjà si éclatante, que, quoique le soleil ›ouvert, elle surpasse encore plusieurs mille elle de la pleine lune.

A. aura déjà remarqué que, même de nuit, ıe la lune est pleine, les étoiles paraissent :oup moins brillantes, et qu'on n'en voit que us grandes, surtout dans le voisinage de la de sorte que toujours une plus grande lumière 'e une plus faible.

ısi est-ce un très-grand avantage que notre phère commence à être éclairée par le soleil même qu'il se lève, parce que cela nous dis- ı soutenir ensuite son vif éclat, qui nous serait portable si le changement de la nuit au jour ıubit. Le temps pendant lequel l'atmosphère ıt éclairée avant le lever du soleil, et con- encore de la clarté après le coucher du so- s'appelle *crépuscule*. Comme c'est un sujet la considération est de quelque importance, propose d'en entretenir plus amplement C'est ainsi qu'un article de physique en en- un autre.

MS de l'éther y tombe en M, il ne continuera pas sa route suivant la même ligne droite MN ; mais en entrant dans l'air, il prendra une autre route MR un peu différente de MN, et l'angle NMR est nommé l'angle de réfraction, ou simplement la réfraction.

III. J'ai déjà remarqué que cette réfraction est d'autant plus grande, que le rayon SM tombe plus obliquement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle BMS est plus petit ou plus aigu. Car si le rayon SM tombait perpendiculairement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle BMS fût droit, alors il n'y aurait point de réfraction, mais le rayon continuerait sa route selon la même ligne droite. Cette règle est générale dans toutes les réfractions, de quelque nature que soient les deux milieux que les rayons traversent.

IV. Que l'arc de cercle AOB (*fig.* 125) représente la surface de la terre, et que l'arc EMF termine l'atmosphère. Donc, si l'on tire en O la ligne OMV qui touche la surface de la terre en O, elle sera horizontale. Maintenant que le soleil se trouve encore au-dessous de l'horizon en S, de sorte qu'il nous serait encore invisible, puisque aucun de ses rayons ne pourrait arriver jusqu'à nous en ligne droite, et que le rayon SM, étant continué en ligne droite, passerait au-dessus de nous en N. Mais comme il tombe en M sur l'atmosphère, et cela très-obliquement, l'angle FMS étant très-petit, il y souffrira une réfraction assez considérable ; et au lieu de passer en N, il pourra parvenir précisément en O ; de sorte que le soleil nous soit déjà visible, quoiqu'il se

izon commence à être éclairée en R; et à mesure que le soleil s'approche de l'horizon, une plus grande partie en sera éclairée jusqu'à ce qu'elle devienne tout à fait lumineuse.

Cette considération me conduit à un autre phénomène non moins intéressant qui lui est très-étroitement lié : c'est que l'atmosphère produit encore cet effet-ci, par lequel nous voyons tant le soleil que les autres astres quelque temps avant qu'ils se lèvent au-dessus de notre horizon, et encore quelque temps après leur coucher. La raison de ce phénomène est la réfraction que les rayons souffrent en passant de l'éther pur dans l'air grossier qui constitue notre atmosphère : je vais en donner l'explication.

I. D'abord les rayons de lumière ne continuent leur route en ligne droite, qu'en tant qu'ils se meuvent dans un milieu transparent de la même nature. Dès qu'ils passent d'un milieu dans un autre, ils sont détournés de leur route rectiligne, et leur chemin devient comme rompu; c'est ce qu'on nomme la réfraction, dont j'ai eu l'honneur d'entretenir assez longtemps V. A., en expliquant comment les rayons, en passant de l'air dans le verre, et ainsi réciproquement, souffrent une réfraction.

II. Or, l'éther et l'air étant aussi deux milieux différents, lorsqu'un rayon passe de l'éther dans l'air, il faut nécessairement qu'il éprouve quelque réfraction.

Ainsi l'arc de ce cercle AMB (*fig.* 124), terminant notre atmosphère en haut, si un rayon de lumière

LETTRE CII.

(... mai 1762.)

Sur ce que les astres nous paraissent plus élevés qu'ils ne le sont effectivement, et sur la table des réfractions.

V. A. vient de comprendre un effet bien singulier de notre atmosphère, par lequel nous voyons le soleil et tous les autres corps célestes dans l'horizon, quand ils se trouvent encore actuellement plongés au-dessous, et qu'ils nous seraient absolument invisibles sans la réfraction de l'atmosphère. C'est aussi par la même raison que le soleil, ainsi que toutes les étoiles, nous paraissent toujours plus élevées au-dessus de l'horizon qu'elles ne le sont effectivement; ce qui fait que l'on doit soigneusement distinguer la hauteur apparente d'une étoile, de sa véritable hauteur à laquelle elle paraîtrait, s'il n'y avait point d'atmosphère. Je vais mettre ceci dans tout son jour.

I. Que l'arc AOB (*fig.* 126) soit une partie de la surface de la terre, et O le lieu où nous nous trouvons, par lequel on tire une ligne droite HOR qui touche la surface de la terre, et cette ligne HOR nous indiquera le véritable horizon. Ou bien qu'on érige en O verticalement la ligne droite OZ, qui est la même qu'un fil suspendu et chargé d'un poids indiqué : cette ligne est nommée ici verticale, et le point du ciel Z, auquel elle aboutit, porte le nom de zénith. Or, cette ligne OZ est perpendiculaire sur

l'horizontale HOR, de sorte que l'une étant connue, on peut aisément déterminer l'autre.

II. Cela posé, soit une étoile en S (*fig.* 127); et s'il n'y avait point d'atmosphère, le rayon SMO passerait en ligne droite à l'œil O, et nous la verrions dans la même direction OMS où elle se trouve actuellement, ou bien nous la verrions dans son véritable lieu. Alors on mesure l'angle SOR que fait le rayon SO avec l'horizon OR, et cet angle est nommé la hauteur de l'étoile, ou son élévation au-dessus de l'horizon. Ou bien on mesure l'angle SOZ que fait le rayon SO avec la ligne verticale OZ, dirigée vers le zénith; et puisque l'angle ZOR est droit, ou de 90 degrés, on n'a qu'à soustraire l'angle SOZ de 90 degrés, pour avoir l'angle SOR, qui donne la véritable hauteur de l'étoile.

III. Tenons maintenant compte de l'atmosphère que je suppose terminée par l'arc HDNMR, et je remarque d'abord que le rayon précédent de l'étoile SM, en entrant en M dans l'atmosphère, ne continue pas sa route vers l'œil en O, mais qu'à cause de la réfraction, il prendra un autre chemin, comme MP, et n'entrera point par conséquent dans nos yeux; de sorte que si l'étoile ne lançait que ce seul rayon SM vers la terre, elle nous serait absolument invisible. Or, il faut considérer que chaque point lumineux darde ses rayons en tout sens, desquels tout l'espace est rempli.

IV. Parmi tous les autres rayons il s'en trouvera donc quelqu'un, comme SN, qui en haut, dans l'atmosphère en N, y est rompu ou réfracté, en sorte

que sa continuation NO passe précisément à l'œil O. Le rayon réfracté NO ne se trouve donc pas en ligne droite avec le rayon SM; et si l'on continue NO vers *s*, la continuation N*s* fera un angle avec le rayon NS, savoir, l'angle SN*s*, qui est le même qu'on nomme la réfraction, et qui est d'autant plus grand que l'angle SNR, sous lequel le rayon SN entre dans l'atmosphère, est plus aigu, comme je l'ai remarqué dans la lettre précédente.

V. Par conséquent, c'est à présent le rayon NO qui dépeint dans nos yeux l'image de l'étoile S, et qui nous la rend visible; et comme ce rayon nous vient dans la direction NO, tout comme si l'étoile s'y trouvait, nous jugeons aussi actuellement l'étoile située dans la direction NO, ou bien dans sa continuation quelque part en *s*. Ce lieu *s* étant différent du véritable S, on nomme *s* le lieu apparent de l'étoile, qu'il faut bien distinguer du véritable lieu S où nous verrions l'étoile, s'il n'y avait point d'atmosphère.

VI. Maintenant, puisque nous voyons l'étoile par le rayon NO, l'angle NOR que fait ce rayon NO avec l'horizon est la hauteur apparente de l'étoile; et quand on mesure, par le moyen des instruments propres à cette opération, l'angle NOR, on dit qu'on a trouvé la hauteur apparente de l'étoile; la hauteur véritable étant, comme nous venons de le voir, l'angle ROS.

VII. De là il est évident que la hauteur apparente RON est plus grande que la hauteur véritable ROM, de sorte que les étoiles nous paraissent plus élevées

au-dessus de l'horizon qu'elles ne le sont en effet, et que cela arrive par la même raison que les étoiles nous paraissent déjà dans l'horizon, quand elles sont encore au-dessous. Or, l'excès dont la hauteur apparente surpasse la véritable est l'angle MON, qui ne diffère pas de l'angle SNs, qu'on nomme la réfraction. Car, quoique l'angle SNs, comme étant l'externe au triangle SNO, soit égal aux deux internes opposés SON et NSO pris ensemble, il faut considérer qu'à cause du terrible éloignement des étoiles, les lignes OS et NS sont parallèles, et conséquemment l'angle OSN s'évanouit; de sorte que l'angle SON est presque égal à l'angle de réfraction SNs.

VIII. Ayant donc trouvé la hauteur apparente d'une étoile, il en faut retrancher la réfraction pour avoir sa véritable hauteur, qu'il n'est pas possible de connaître autrement que par ce moyen. Pour cet effet, les astronomes se sont donné beaucoup de peine afin de découvrir exactement la réfraction qu'il faut retrancher de chaque hauteur apparente, ou dont il faut baisser davantage le lieu apparent de l'étoile pour avoir son véritable.

IX. Après une longue suite d'observations, ils ont enfin dressé une table qu'on nomme la table de réfraction, qui marque pour chaque hauteur apparente la réfraction ou l'angle qu'il faut en retrancher. Ainsi, lorsque la hauteur apparente est nulle, ou que l'étoile paraît dans l'horizon, la réfraction est de 32 minutes dont il faut baisser l'étoile sous l'horizon. Mais, pour peu que l'étoile paraisse élevée au-dessus de l'horizon, la réfraction devient beau-

coup moindre. A la hauteur de 15 degrés, la réfraction n'est plus que de 4 minutes; à la hauteur de 40 degrés, elle n'est que d'une minute; et pour de plus grandes hauteurs, la réfraction devient de plus en plus petite, jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse entièrement à la hauteur de 90 degrés.

X. Cela arrive lorsqu'une étoile est vue dans le zénith même; car alors sa hauteur est de 90 degrés, et la hauteur véritable est la même que l'apparente. Ou bien, nous sommes assurés qu'une étoile que nous voyons dans le zénith s'y trouve actuellement, et que la réfraction de l'atmosphère n'en change point la place, comme il arrive dans toutes les autres situations.

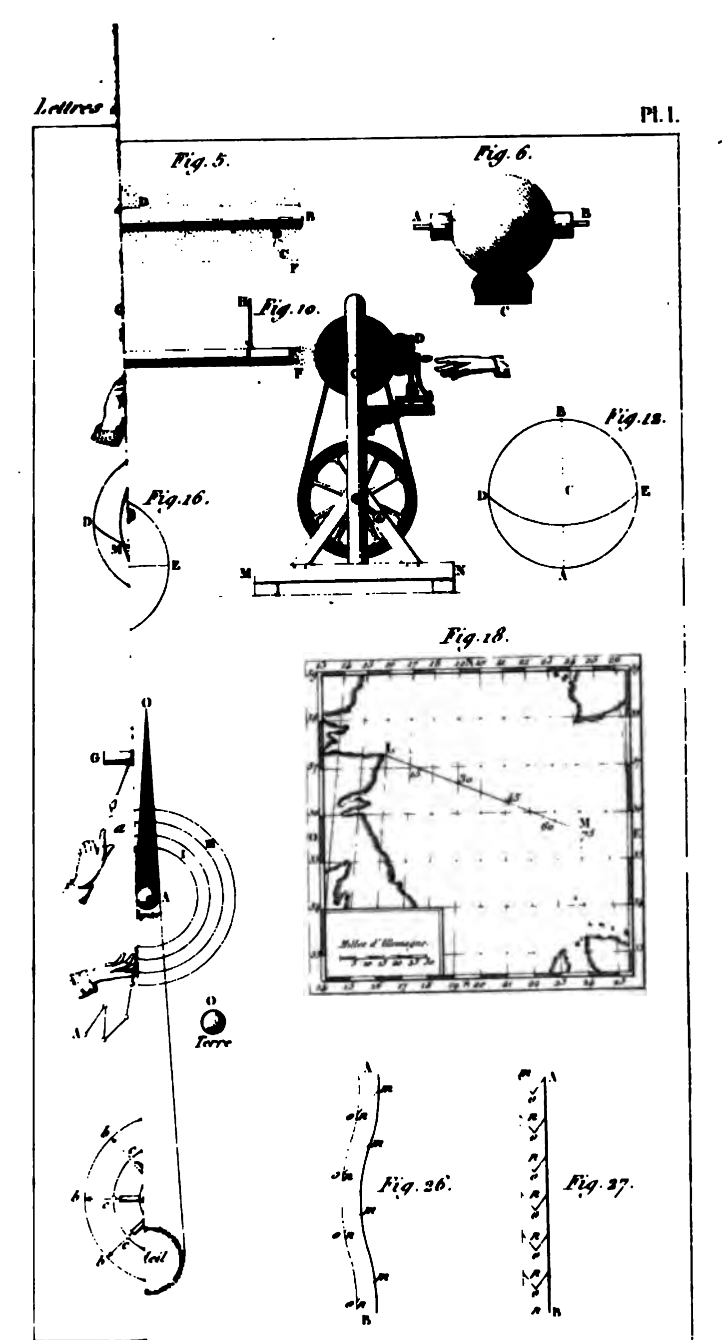
FIN DU TOME SECOND ET DERNIER.

TABLE

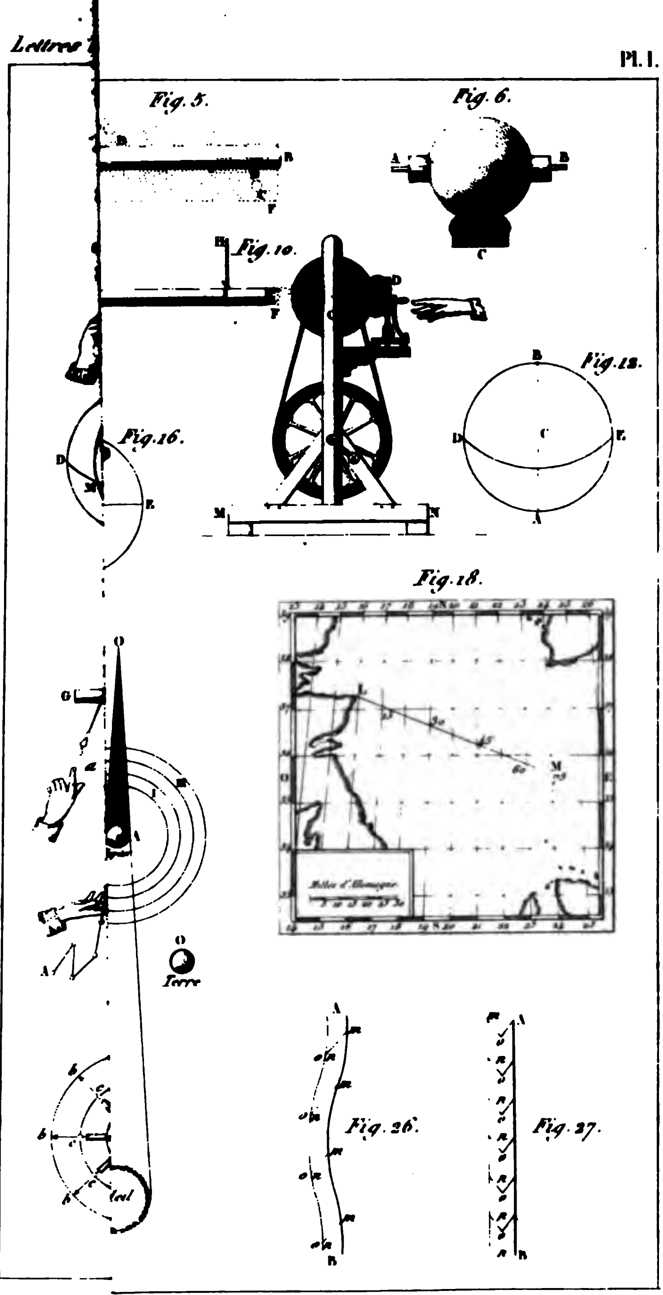
DU TOME SECOND.

SUITE DE LA DEUXIÈME PARTIE.

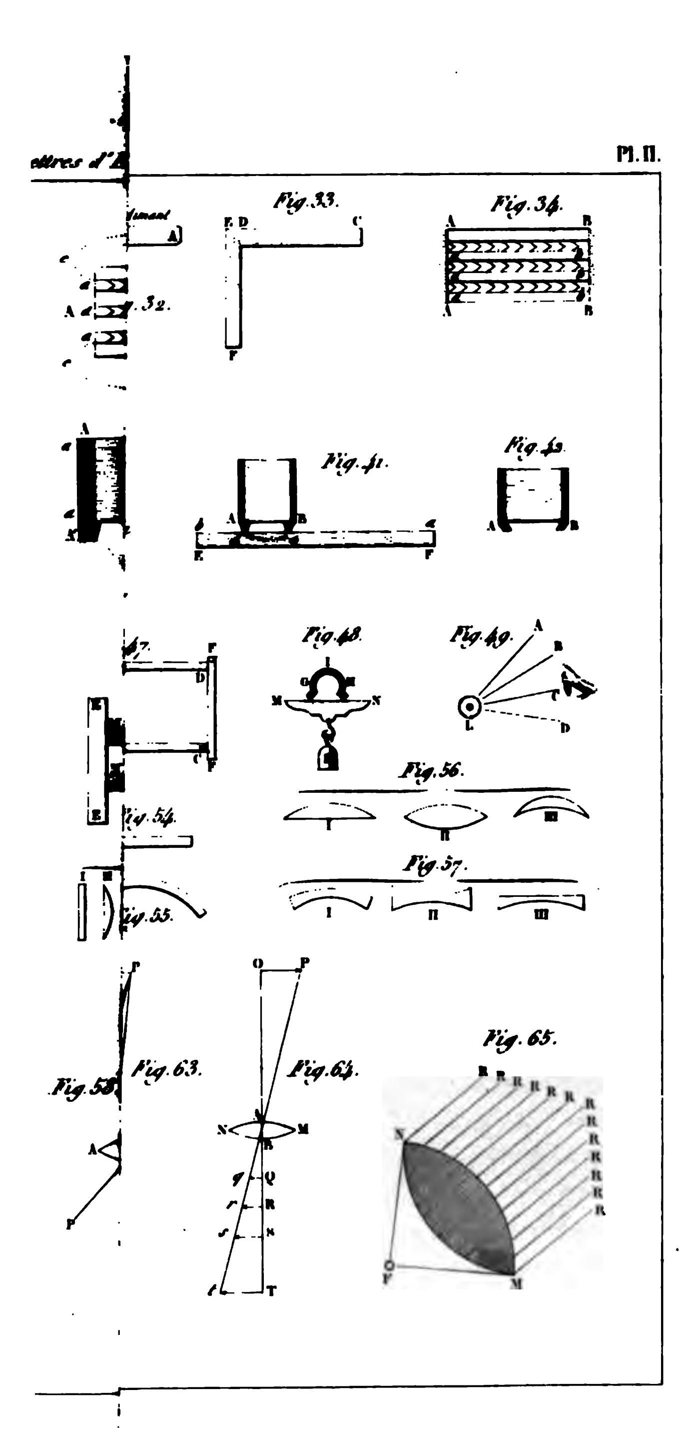
FIN DE LA TABLE DU TOME SECOND.

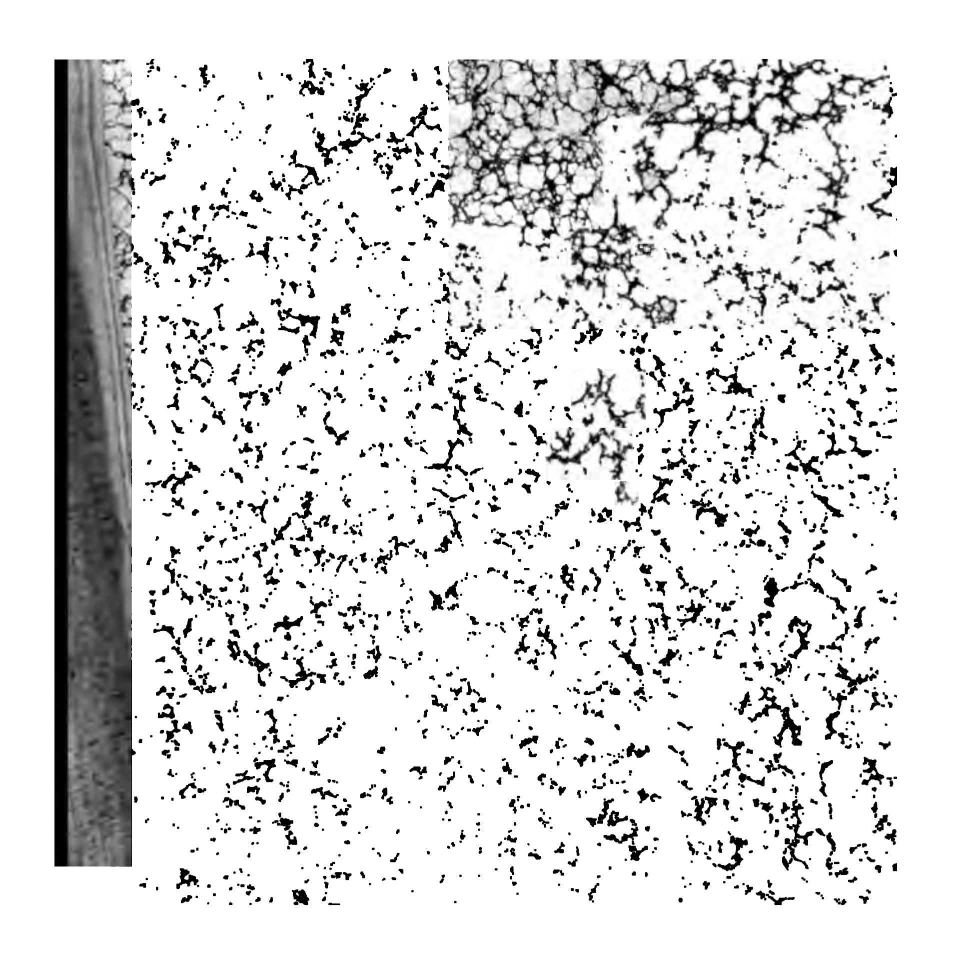


Gravé par Duran



Gravé par Perrin


Pl. II.
Fig. 33.
Fig. 34.
Fig. 41.
Fig. 42.
Fig. 48.
Fig. 49.
Fig. 56.
Fig. 57.
Fig. 63.
Fig. 64.
Fig. 65.
Fig. 58.




Stanford University Libraries
3 6105 010 765 480

